

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MULTIFUNCIONAL DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL PARA UNA MÁQUINA TRIPLE (IMPRESORA 3D, GRABADOR LÁSER Y RUTEADORA) DE BAJO COSTO**

**CRISTIAN JAVIER NAVARRO MUETE**  
Estudiante Ingeniería Electrónica.

**Universidad de Cundinamarca**  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Electrónica  
Fusagasugá, Colombia  
2019

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MULTIFUNCIONAL DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL PARA UNA MÁQUINA TRIPLE (IMPRESORA 3D, GRABADOR LÁSER Y RUTEADORA) DE BAJO COSTO**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
ingeniero electrónico

CRISTIAN JAVIER NAVARRO MUETE  
Facultad de Ingeniería Electrónica

Director interno:  
Ing. WALTER NARANJO

Director externo:  
Ing. GABRIEL ALEJANDRO URICOECHEA NAJAS

Línea de investigación:  
SOFTWARE, SISTEMAS EMERGENTES y NUEVAS TECNOLOGÍAS

**Universidad de Cundinamarca**  
Facultad de ingeniería  
Ingeniería electrónica  
Fusagasugá, Colombia

2019

## **Resumen**

Este proyecto desarrolla el diseño e implementación de un prototipo multifuncional basado en el control numérico computarizado, con la habilidad de realizar tareas con diferentes enfoques. Este dispositivo es denominado CNC TRIPLE, el cual es una máquina capaz de realizar perfectamente las funciones de impresión 3D, grabador láser y ruteo CNC. El equipo de trabajo realizó el análisis de comportamiento, características y respuesta a cada una de las funciones de la CNC TRIPLE. Con el análisis anterior se busca optimizar y simplificar estructuralmente la máquina, para obtener un prototipo funcional de diseño simplificado, versátil, de alta calidad y fácil manejo.

El proceso de desarrollo de la CNC TRIPLE fue dividido en tres etapas, inicialmente se realizó un estudio enfocado según las propuestas de hardware y software. En la etapa número dos se realizó el diseño mecánico y eléctrico de cada componente de la máquina. Posteriormente terminado este proceso se analizaron los comportamientos compartidos por cada uno de los sistemas y fue simplificado su diseño estructural.

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>1. PROBLEMA</b>	10
1.1. Planteamiento del problema	10
1.2. Objetivos del estudio	11
1.2.1. Actividad principal	11
1.2.2. Actividades secundarias	11
1.3. Justificación	11
1.4. Alcances y limitaciones	12
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	13
2.1. Antecedentes	14
2.2. Estado del arte	16
2.2.1. Control numérico por computadora	16
2.2.2. Código g	16
2.2.3. Impresoras 3D	17
2.2.4. Grabador láser	17
2.2.5. Máquina ruteadora CNC	18
2.3. Fundamentos Teóricos	19
2.3.1. Impresora 3D	19
2.3.2. Grabador Láser	20
2.3.3. Máquina Ruteadora CNC	21
2.3.4. Motor Paso a Paso	22
2.3.5. Driver	23
2.3.6. End Estop	24
2.3.7. Arduino Uno Y Arduino Mega	24
2.3.8. Interface	27
<b>3. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	29

3.1.	Metodología	29
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DEL HARDWARE</b>	<b>31</b>
4.1.	Montaje sistema	31
4.2.	Simplificación de componentes compatibles	31
4.3.	Modificación y rediseño de etapas de potencia	31
4.3.1.	Etapa de potencia para la alimentación Arduino	31
4.3.2.	Etapa de potencia aislamiento laser	32
4.3.3.	Pruebas de TX y RX sin periféricos	33
4.3.4.	Acople Ruteadora CNC, Laser e Impresora 3D	34
4.4.	Configuración del eje Z	41
4.4.1.	Diagrama configuración eje Z	41
4.5.	Modificación de software e interfaces en los 3 modos	42
<b>5.</b>	<b>DISEÑO PLACAS</b>	<b>43</b>
5.1.	Software EAGLE	43
5.2.	Elaboración de librerías	43
5.3.	Elaboración de Placas	45
5.4.	montaje de componentes	48
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DEL ÁREA DE TRABAJO</b>	<b>49</b>
6.1.	Estructura de soporte	49
6.1.1.	Impresora 3D	49
6.1.2.	Grabador Láser	49
6.1.3.	Ruteadora CNC	49
6.2.	Diseño cabezales	50
6.3.	Ensamblaje	52
<b>7.</b>	<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>

# Índice de figuras

Figura 1. Impresora printMATE 3D	20
Figura 2. Máquina CNC grabadora.	21
Figura 3. Máquina Ruteadora CNC VIS4530	22
Figura 4. Motor Paso a Paso 12.2 KgCm	23
Figura 5. Driver DRV8825	24
Figura 6. Arduino Uno	25
Figura 7. Arduino Mega	26
Figura 8. Interface BCNC	27
Figura 9. Interface GRBLlaser	28
Figura 10. Interface Pronterface	28
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso metodológico	30
Figura 12. Circuito de etapa de potencia para dispositivo Arduino	32
Figura 13. Etapa de potencia aislamiento láser.	33
Figura 14. Diagrama de distribución eléctrica	34
Figura 15. Convertidor Buck 12-5 V	34
Figura 16. Imagen funcional de comunicación tx y rx para cada modo	35
Figura 17. Imagen funcional del reset	36
Figura 18. Convertidor de ISP a TX y RX	36
Figura 19. Diagrama de conexiones modo ruteadora CNC, laser e impresión 3d	37
Figura 20. Diagrama de conexiones motor, rampas, arduino, driver y buffer.	38
Figura 21. Diagrama de conexión para los ejes X, Y y Z	39
Figura 22. Finales de carrera aislados para cada eje	39
Figura 23. Ruteadora CNC	39
Figura 24. Láser	39
Figura 25. Impresora 3D	39
Figura 26. Motores de los ejes X, Y y Z	40
Figura 27. Montaje final del sistema CNC Triple	40
Figura 28. Diagrama de bloques para el eje Z	41
Figura 29. Hoja de diseño software Eagle	44
Figura 30. Diagrama esquemático software Eagle	44
Figura 31. Esquema cabezal impresora 3D	45
Figura 32. Diseño esquemático cabezal impresora 3D	46
Figura 33. Verificación de funcionamiento con herramienta de ruteo	46
Figura 34. Placa Mainboard	47
Figura 35. Placas para los tres cabezales	47
Figura 36. Mainboard	48
Figura 37. Cabezales	48
Figura 38. Estructura de soporte vista desde el lateral	50
Figura 39. Estructura de soporte vista de frente	50

Figura 40. Parte exterior de los conectores	51
Figura 41. Cabezal ruteadora CNC	52
Figura 42. Cabezal impresora 3D	52
Figura 43. Cabezal láser	52
Figura 44. Ensamble parte electrónica de los cabezales	53
Figura 45. Montaje driver DRV8825	53
Figura 46. Montaje Driver TB660	53
Figura 47. Cama caliente 500x500mm	54
Figura 48. Montaje interno CNC TRIPLE	55
Figura 49. Placa de conexión para motores interna	55
Figura 50. Placa de conexión para motores externa	55

# Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas Impresora printMATE 3D	20
Tabla 2. Especificaciones técnicas máquina CNC VIS4530	21
Tabla 3. Especificaciones técnicas Máquina ruteadora CNC VIS4530	22
Tabla 4. Especificaciones técnicas Motor paso a paso 12.2 KgCm	23
Tabla 5. Especificaciones técnicas Arduino Uno	25
Tabla 6. Especificaciones técnicas Arduino Mega	26
Tabla 7. Características de los cabezales de la máquina CNC TRIPLE	51
Tabla 8. Presupuesto del proyecto	56



# INTRODUCCIÓN

Los avances de la electrónica le han brindado al ser humano la posibilidad de sobrepasar diferentes barreras a nivel tecnológico, permitiendo el desarrollo de nuevos dispositivos con características más complejas y dinámicas. Lo anterior ha dado paso a la creación de dispositivos multitarea, permitiendo la optimización de tiempos y la reducción de costos.

Actualmente en el mercado existen diferentes máquinas que se encargan de realizar tareas específicas, un claro ejemplo de ello son la impresora 3D, el grabador láser y la máquina CNC. . La impresora 3D hace la impresión de figuras con volumen diseñadas a partir de una computadora. El grabador láser, por su parte, es utilizado para obtener grabados o cortes muy precisos en diferentes tipos de materiales. Por último, la máquina CNC se utiliza para el fresado y perforado de placas de circuitos impresos PCB, entre otras tareas. Estos dispositivos manejan precios elevados por separado para el usuario. Sin embargo, existe la posibilidad de crear una máquina que tenga las 3 tareas reduciendo los costos.

Debido a que estas tres máquinas funcionan a partir del mismo principio CNC (Control Numérico Computarizado), la empresa VISTRONICA SAS en conjunto con estudiantes de la universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá llevó a cabo la creación de la CNC TRIPLE. Una máquina multifuncional capaz de realizar tres procesos diferentes de trabajo (impresora 3D, grabador láser y máquina CNC) a bajo costo.

En este proyecto se involucran conceptos de computación, electrónica y electromecánica.integrándose en uno solo y obteniendo como resultado la CNC TRIPLE. Una máquina capaz de realizar correctamente las tres tareas que en principio cada una hace por separado. A lo largo del proyecto se realizaron diferentes pruebas que permitieron la simplificación de algunos procesos, debido a que las tres máquinas comparten características de funcionamiento.

# 1.PROBLEMA

---

## 1.1. Planteamiento del problema

Con la evolución de la tecnología se han desarrollado diversos tipos de máquinas y dispositivos multifuncionales. En el mercado existen dispositivos capaces de realizar varias tareas simultáneas, aunque esto no es tan común en máquinas o dispositivos industriales de alta complejidad y robustez. A estos equipos se les asigna una única tarea, como en el caso de las impresoras 3D, los grabadores láser y las máquinas de ruteo CNC. Por ejemplo, las placas PCB o de circuito impreso creadas a partir de las máquinas CNC ruteadoras son fundamentales para la creación de nuevos dispositivos electrónicos. Las impresoras 3D, por su parte, han dado un giro revolucionario en la fabricación de piezas para diferentes áreas del conocimiento. Actualmente se desarrollan desde implantes y prótesis en el área médica que ayudan a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades motoras, . Por otra parte, los grabadores láser permiten reproducir imágenes y realizar grabados o cortes de alta precisión con detalles muy exactos.

Adquirir este tipo de equipos comercialmente por separado resulta bastante costoso, además que el valor del mantenimiento que debe hacerse a cada dispositivos lo hace económicamente inviable para el usuario. Por esta razón la empresa VISTRÓNICA SAS trabajando de la mano con estudiantes de la Universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá, decidió diseñar e implementar una máquina multifuncional y versátil, capaz de acoplar estos tres dispositivos en una máquina versátil llamada la CNC TRIPLE, que les ofrece a sus clientes una disminución de costos y mantenimiento.

## **1.2. Objetivos del estudio**

### **1.2.1. Actividad principal**

Diseñar y construir un prototipo multifuncional de CNC triple de bajo costo que permita integrar las funciones de una impresora 3D, un grabador láser y una máquina de fresado.

### **1.2.2. Actividades secundarias**

- Investigar el estado de arte de la impresora 3D, grabador láser, máquina ruteadora CNC.
- Implementar la máquina CNC triple, diseñando sus componentes electromecánicos (tarjetas de control, chasis y sistema mecánico de posicionamiento).
- Implementar software para de comunicación del computador a la máquina CNC triple.
- Realizar pruebas de validación de funcionamiento de la máquina CNC triple.

### **1.3. Justificación**

El desarrollo de este proyecto trae grandes beneficios económicos para la empresa VISTRONICA SAS, su equipo de trabajo y en especial a sus usuarios. El diseño y desarrollo de la CNC TRIPLE se realizó bajo el sistema de automatización denominado control numérico computarizado, ampliamente utilizado en la industria, para la creación y moldeo de piezas complejas de una forma rápida y precisa.

Esta tecnología CNC TRIPLE permite aumentar los índices de productividad y calidad, brindando la posibilidad de disminuir los costos de producción. Los equipos diseñados a partir de este sistema son dinámicos y muy versátiles, permitiendo ser manipulados fácilmente por cualquier usuario.

El principal objetivo de la Empresa VISTRONICA SAS es ofrecer al usuario una experiencia única y la disminución de costos en la adquisición de una máquina 3 en 1. La CNC TRIPLE es un ejemplo de los avances tecnológicos actuales y refleja claramente el beneficio económico y las ventajas que genera el desarrollo de dispositivos multifuncionales.

## **1.4. Alcances y limitaciones**

El prototipo mantendrá el método original de trabajo de cada una de las máquinas y su construcción está dividida en tres partes importantes: diseño mecánico, diseño eléctrico y desarrollo de software. La CNC TRIPLE contará con una interfaz gráfica donde el usuario podrá realizar sus diseños. De forma paralela al proceso de diseño, el dispositivo generará simultáneamente un código G que será interpretado por la máquina como la orden del usuario. La interfaz requiere ser versátil y compatible con cada uno de los modos de operación de la máquina. Además, debe ser sencilla y de fácil comprensión para el operario.

Para la configuración de la CNC triple se utilizará el firmware MARLÍN, software (SW) diseñado especialmente para máquinas que realizan este tipo de tareas. Este SW centrado en aspectos importantes como precisión, calidad y seguridad.

## 2.MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. Antecedentes

El control numérico computarizado (CNC) nace a partir de la necesidad de optimizar procesos y disminuir el tiempo de trabajo para la obtención de resultados. Unos cuantos siglos atrás todos los procesos de manufactura eran realizados de forma manual, con el paso de los años el hombre creó diferentes herramientas y maquinaria que le permitieron desarrollar tareas de forma más rápida y eficiente.

Las máquinas con principios de control numérico tienen origen alrededor del año 1725, con la creación de un telar que trabajaba a partir de tarjetas perforadas. La combinación de los patrones de estas perforaciones permitía realizar diseños únicos. Con el paso de los años se fueron desarrollando diferentes sistemas que trabajaban de la mano con el control numérico, en 1863 se creó el primer piano que tocó automáticamente por medio de tarjetas perforadas. (MARÍN, 2012)

No fue sino hasta el año 1947 que se dio importancia a los sistemas que trabajaban de este modo. El problema fundamental se centraba en poder combinar distintos movimientos dirigidos a varias direcciones en tiempos muy cortos utilizando una sola herramienta, para poder realizar este proceso y asegurar la precisión debería seguirse una trayectoria definida por un gran número de puntos (Mario Gomez Villeda, 2006). El científico John Parsons experimento con la idea de generar los datos y posiciones en factores X y Y, de un plano y sus curvas, con el fin de usarlos para controlar los movimientos de una máquina. (MARÍN, 2012)

En el año 1952 el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) demostró exitosamente un modelo de máquina con control numérico que presentaba una opción clara y confiable para la introducción de esta técnica (MARÍN, 2012). En el año 1955 la aceptación esta tecnología fue en ascenso, aunque su funcionamiento era muy limitado debido a que los armarios de control utilizados en esta primera generación de máquinas fueron realizados gracias a una lógica cableada, contando con un mínimo de funciones como la memorización de una sola línea de programa o la Interpolación lineal únicamente (Mario Gomez Villeda, 2006). Hasta el año 1957 las máquinas CNC fueron aceptadas completamente por la industria y reconocidas como máquinas de alto desempeño. A partir de esta fecha se incorporó el uso de las

computadoras como una herramienta adicional que le permitía a la máquina realizar sus tareas de forma más eficiente.

## **2.2. Estado del arte**

### **2.2.1. Control numérico por computadora**

Los avances tecnológicos automáticos, sin intervención humana en su operación, han tenido gran acogida en la última década. El desarrollo de sistemas automatizados requiere de métodos y sistemas de control precisos y eficaces que proporcionen fiabilidad en los procesos..

La aplicación de lógica cableada en sistemas de automatización está fuera de uso gracias a la aparición de los CNC. Este tipo de control se basa en la implementación de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CN, poco fiables y de estructura robusta (ORTÍZ, 2004). Los sistemas CNC dotan a la máquina de la capacidad de trabajar en un plano tridimensional, permitiéndole posicionarse y realizar movimientos espaciales según sea requerido. Las máquinas que trabajan a partir de esta tecnología realizan diferentes tipos de tareas, que van desde el corte hasta la fabricación de piezas. Los sistemas CNC son la base para el desarrollo de sistemas de fabricación flexible por computadora (Cuiqing Lin, 2016).

La precisión y el desempeño de estos sistemas de control es muy importante por lo que constantemente se trabaja en desarrollar sistemas con mayor eficiencia y exactitud. S.F. Yakutov de la Universidad Estatal Técnica de Omsk en Rusia, planteó la necesidad de mejorar la precisión de máquinas herramientas con control numérico reduciendo el error térmico del esquema cinemático de la máquina, por lo que a lo largo del año 2015 llevó se desarrolló e implementó un convertidor basado en la naturaleza de las olas de luz láser para mejorar la precisión de las máquinas CNC y reducir el error de temperatura causado por el calentamiento desigual (Yakutov, 2015) .

### **2.2.2. Código g**

Los programas de control numérico computarizado se generan a partir de diferentes metodologías. El código puede ser ingresado de forma manual desde el panel de control de la máquina por el operario o generarse de forma automática mediante el procesamiento del dibujo de una pieza. Existe la posibilidad de equipar el controlador con una alternativa de diálogo interactivo que facilite la codificación. Estos programas contienen instrucciones estandarizadas por la EIA e ISO, instrucciones que son agrupadas en funciones preparatorias o lo que es denominado código “G”



(Rodríguez, 2008). Estas funciones preparatorias determinan los movimientos y operaciones que deben ser realizados por la máquina. Dichos programas son procesados mediante el controlador y traducidos en forma de movimiento, de este modo se vectoriza la forma de moverse y su trayectoria.

### **2.2.3. Impresoras 3D**

Las impresoras 3D ofrecen un sin número de posibilidades en el diseño y creación de diferentes piezas tridimensionales. Estos dispositivos son capaces de crear objetos con dimensiones y longitudes específicas rápidamente, convirtiéndose en un avance de diferentes áreas de la ciencia y de la industria.

Un ejemplo claro es la medicina, en el Hospital Fortis de Mulund, India, en enero del año 2016 se realizó una cirugía cardíaca compleja a una niña *Palghar* de cinco años, con la ayuda de un corazón impreso en 3D, los médicos pudieron determinar que tenía dos agujeros en su corazón, una arteria pulmonar endurecida y una aorta fuera de lugar (Vora, 2016). Con la ayuda de esta tecnología se replicó diferentes órganos del cuerpo humano con las cuales los médicos realizaron simulaciones preoperatorias antes de la cirugía, permitiéndoles analizar el comportamiento de ciertas patologías.

Este tipo de impresoras requieren de un software de diseño adecuado, con el cual el usuario tenga una interface amigable.. El software debe poder proporcionar a datos suficientes a la CNC TRIPLE como la cantidad de materia prima requerida, la tasa de tiempo con la que el material debe salir de la boquilla y las características de diseño y calidad del modelo requerido (Sahana V.W, 2018).

### **2.2.4. Grabador láser**

Las máquinas de tipo CNC láser son generalmente utilizadas para realizar cortes y grabados con altos niveles de precisión. La precisión de la máquina depende estrictamente del movimiento de los ejes, quienes son los encargados de la calidad de resolución para cada trayectoria (José Gabriel Arpí Trujillo, 2013). Para que la trayectoria sea limpia y se apegue estrictamente al diseño del usuario, es necesario la implementación de motores de paso, debido a que ofrecen la posibilidad de manejar micro pasos que aumentan la resolución en los trazos realizados por la máquina.

Las aplicaciones de los grabadores láser son muy amplias debido a que tienen la posibilidad de trabajar en diferentes tipos de materiales como madera, tela, papel,

metal, cristal, goma y acrílico. Este tipo de maquinaria es muy utilizada en la industria automotriz para el corte y grabado de piezas debido a su precisión y fiabilidad. Otra aplicación se encuentra en la industria textil, donde estas máquinas son utilizadas para obtener acabados muy precisos y hacen parte esencial del proceso de producción de artículos de cuero, debido a que permiten realizar troquelados detallados y terminados más exactos.

Una de los principales objetos de estudio enfocados en las máquinas de grabado y corte láser es la optimización de la trayectoria para obtener una disminución de los tiempos de operación. La universidad Federal de los Urales de Ekaterimburgo en Rusia, realizó una investigación en el año 2017 enfocada en los problemas de optimización de la trayectoria en máquinas de corte térmico CNC, en la cual se estableció una relación entre el valor de número de fotogramas y la magnitud de la velocidad, para calcular la función objetivo de la máquina y por tanto lograr determinar la trayectoria más óptima. (Tavaeva A.F., 2017)

#### **2.2.5. Máquina ruteadora CNC**

El proceso de fresado permite realizar cortes y perforaciones en diferentes tipos de materiales. Estas herramientas trabajan a partir de una pieza denominada fresa, la cual puede variar su tamaño según la aplicación requerida. La principal ventaja de las fresadoras que trabajan a partir de CNC es su habilidad de movimiento hacia diferentes ejes y la capacidad de operar en cualquier ángulo (Theias, 2019).

Este tipo de herramientas son utilizadas en diferentes áreas de la industria para el diseño de componentes y elementos estructurales. Además, permiten al usuario trabajar con materiales muy variados como: plástico, madera, acero y bronce. Debido a su amplia utilidad y aplicaciones se requiere que estas máquinas CNC sean de alta precisión.

Los errores geométricos, térmicos y de fuerza de corte son tres fuentes principales de error que afectan la precisión de estas herramientas. Con el fin de mitigar estos errores en el año 2017 el Centro de Ciencias Emergentes y Tecnología Aplicada de Islamabad, Pakistán, se desarrolló una metodología para identificar errores sistemáticos introducidos debido a las deformaciones elásticas en la estructura de las fresadoras CNC, donde se demostró que la precisión de las fresadoras CNC puede mejorarse en un 70% compensando los errores en el controlador de la máquina. (Shoukat Nawaz, 2017). Uno de los principales enfoques del desarrollo de este tipo

de maquinaria es la mitigación de estos errores, por lo que se trabaja arduamente para mejorar su respuesta y optimizar su funcionamiento.

## **2.3. Fundamentos Teóricos**

A continuación, se exponen los diferentes dispositivos y software incorporados en el diseño de la máquina CNC triple. Se describen las características principales de cada uno de ellos y sus aspectos de mayor relevancia.

### **2.3.1. Impresora 3D**

La impresora 3D es un dispositivo capaz de recrear piezas tridimensionales con longitudes específicas. Trabaja siguiendo un modelo digital utilizando técnicas de deposición fundida en la que un material es depositado por capas para dar volumen a la pieza. Existen diferentes tipos de materiales utilizados por las impresoras 3D, entre los más comunes se encuentran el acetato de polivinilo (PVA), el policarbonato (PC), el poliestireno (HIPS) y el Nylon (Álvarez, 2019).

La empresa VISTRONICA S.A.S ofrece la printMATE 3D, una impresora compacta y económica con la cual el usuario puede materializar todas sus ideas cuenta con un sensor de proximidad capacitivo el cual detecta materiales metálicos y no metálicos como el vidrio ideal para calibrar el nivel de altura del área de impresión. Es necesario pasar el código G a archivos STL por medio del software slic3r. Es posible ejecutar la impresión desde la interfaz gráfica pronterface o por medio de una memoria SD directamente conectada a la printMATE 3D (VISTRONICA-SAS, 2019).

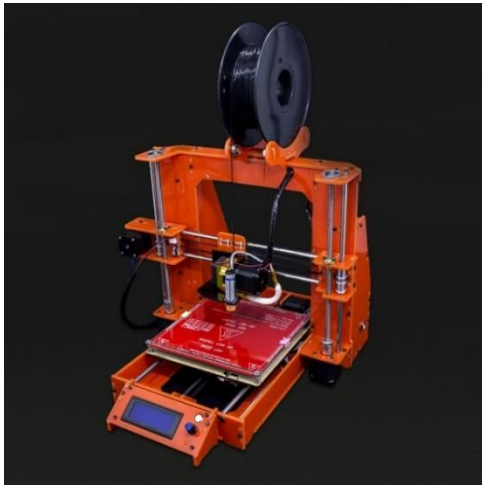


Figura 1. Impresora printMATE 3D

Especificaciones printMATE 3D	
Dimensiones	48 x 48 x 42 cm
Área de impresión	17 x 19 x 19 cm
Materiales	PLA, ABS, Nylon, Laybrick, Laywood, Filaflex, PVA
Voltaje de alimentación	120 V AC (red doméstica)
Software	Firware Marlin, slic3r, Pronterface

Tabla 1. Especificaciones técnicas Impresora printMATE 3D

### 2.3.2. Grabador Láser

Las máquinas de grabado láser trabajan a partir de un método de sustracción de material, utilizan un haz láser de alta potencia para realizar modificaciones en una superficie. Estos grabadores láser pueden trabajar en materiales como madera, tela, papel, metal, cristal, goma y acrílico. El haz de luz trabaja a altas temperaturas que le permiten vaporizar la superficie y dar forma a diferentes figuras según la necesidad del usuario. Este tipo de máquinas son utilizadas generalmente para realizar cortes y grabados, su nivel de precisión es muy alto y depende estrictamente del movimiento de sus ejes. La profundidad de las marcas realizadas por el láser varía según su número de trayectorias.

La empresa VISTRONICA S.A.S ofrece la Máquina CNC grabadora. Esta utiliza un láser de 1W 450nm. Las medidas de la máquina son de 61X60X32 cm, SU área de grabado es de 38X36 cm. Trabaja con tarjeta de desarrollo Arduino junto con la placa CNC SHIELD bajo la interfaz gráfica de GRBL LASER.



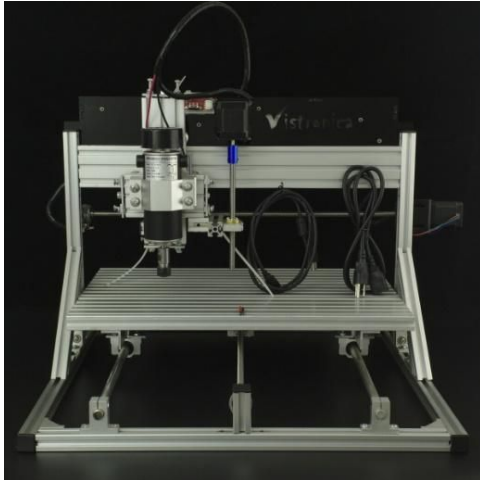
**Figura 2.** Máquina CNC grabadora.

Especificaciones Máquina CNC grabadora	
Dimensiones	61 x 60 x 32 cm
Área de impresión	40 x 44 cm
Materiales	Madera, bambú, plástico y espuma.
Voltaje de alimentación	12V - 4A DC
Software	GRBL LASER

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas máquina CNC VIS4530

### 2.3.3. Máquina Ruteadora CNC

Las máquinas ruteadoras CNC (fresadoras) trabajan con ayuda de una pieza cilíndrica giratoria denominada fresa, esta puede variar su tamaño según la aplicación requerida. La principal ventaja de este dispositivo es su habilidad de movimiento hacia diferentes ejes y la capacidad de operar en cualquier ángulo (Theias, 2019).



**Figura 3.** Máquina Ruteadora CNC VIS4530

Especificaciones Ruteadora CNC VIS4530	
Torque de cada motor	5.6kg.cm
Base de Trabajo	45cmx30cm
Área de trabajo total	43cm (Eje x) 28cm (Eje Y) 7cm (Eje Z)
Resolución	0.2mm
Boquilla del Spindle	ER11 (Para fresas de 3.17mm)
Potencia del Spindle	500W

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas Máquina ruteadora CNC VIS4530

### 2.3.4. Motores paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo que se encarga de convertir los impulsos eléctricos recibidos en movimientos angulares. Por esta razón le es posible realizar desplazamientos muy precisos, avanzando en función de pasos determinados por la magnitud de un ángulo. Este tipo de dispositivos son utilizados en aplicaciones en las que se requiere precisión y control de velocidad. Existen dos clases de motores paso a paso: Bipolares y Unipolares. La diferencia entre ellos radica en la dirección en que circula la corriente por sus bobinados, en el caso de los dispositivos Unipolares la corriente circula en un mismo sentido, mientras que en los dispositivos bipolares la dirección de la corriente varía en función de la tensión.

#### 2.3.4.1. Motor Paso a Paso 12.2 KgCm

El Motor Paso a Paso 12.2 KgCm sigue el estándar de medidas Nema 17, que define el tamaño del dispositivo. Ofrece gran precisión y facilidad de control, lo que lo hace ideal para aplicaciones de fuerza y exactitud. Este tipo de motores son utilizados generalmente en la implementación de máquinas tipo CNC como las impresoras 3D. Es un motor de tipo Bipolar con un ángulo de paso de 1.8 grados, es decir 200 pasos por vuelta. Cada bobinado es de 1.68A y tiene capacidad de desarrollar un torque de hasta 5.6 Kg/cm (VISTRONICA-SAS, 2019).



**Figura 4.** Motor Paso a Paso 12.2 KgCm

Especificaciones Motor Paso a Paso 12.2 KgCm	
Modelo	SL42STH48-1504 <sup>a</sup>
Longitud	4.7cm
Ángulo de paso	1.8°
Voltaje nominal <sup>2</sup>	8V
Corriente nominal	68A
Resistencia de fase	1.68Ω
Inductancia de fase	2.8mH
Torque	5.6Kgcm
Cables de conexión	4
Inercia del motor	68
Peso	350 gramos

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas Motor Paso a Paso 12.2 KgCm

## 2.3.5. Driver

### 2.3.5.1. Driver DRV8825

El driver DRV8825 proporciona una solución de controlador de motor integrado para impresoras, escáneres y otras aplicaciones de equipos automatizados. El dispositivo tiene dos controladores de puente H y un indexador de micropasos, el cual está diseñado para conducir un motor paso a paso bipolar. Este driver es una versión mejorada del A4988, en comparación a este presenta mayor potencia. Tiene una capacidad de corriente de 1.5A y una refrigeración adicional de 2.2A.

Este driver está basado en el circuito DRV8825 de Texas Instrument y tiene una disposición de pines totalmente compatible con el A4988 por lo que puede ser un reemplazo directo del mismo. Es utilizado para el control de motores paso a paso bipolares de entre 8.2 y 45V, con micropasos entre 1 y 1/32 pasos en seis velocidades diferentes. Además, cuenta con un potenciómetro que permite ajustar el consumo de corriente para evitar daños en el motor y tener movimientos más suaves y continuos en la ilustración número (5) vemos las conexiones apropiadas (VISTRONICA-SAS, 2019).

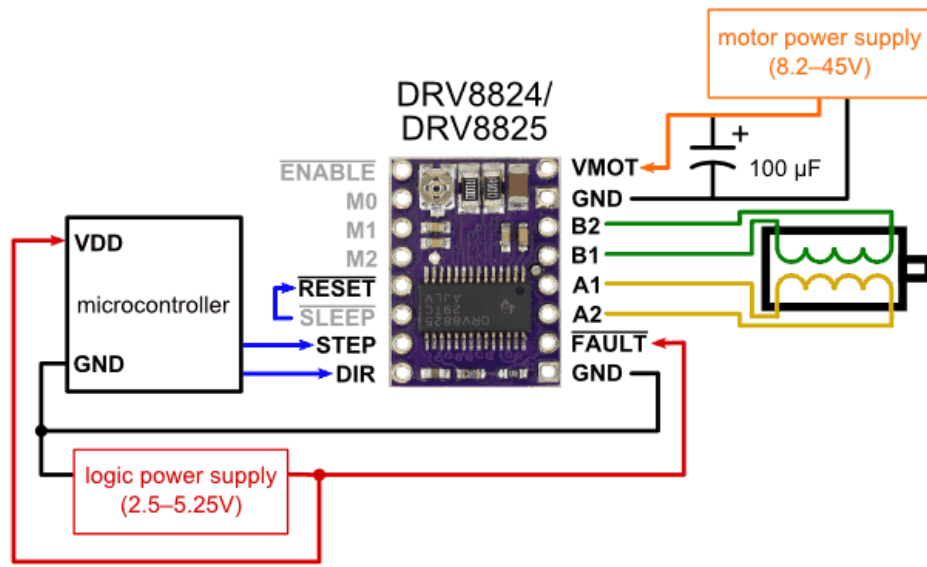


Figura 5. Driver DRV8825

### 2.3.6. End Estop

Los dispositivos end stop son interruptores encargados de dispararse cuando un eje RepRap alcanza el punto final de su movimiento. El sensor fotoeléctrico TCST2103 es un sensor transmisivo que incluye un emisor de infrarrojos y un fototransistor, ubicados cara a cara en los ejes ópticos en un paquete con plomo que bloquea la luz visible. Estos números de parte incluyen opciones para el ancho de apertura. Este es se destaca debido a su precisión, es utilizado generalmente en impresoras 3D y herramientas numéricas y/o tridimensionales. Cuenta con tres terminales, voltaje, señal y tierra. Quienes se conectan directamente a la board shield RAMPS 1.4 para Impresoras 3D RepRap mediante un cable de conexiones tipo Hembra-Hembra de 80 cm de longitud. La señal que se obtiene a través del sensor es procesada mediante el shield RAMPS 1.4 al circuito de control correspondiente (VISTRONICA-SAS, 2019).

### 2.3.7. Arduino Uno Y Arduino Mega

Arduino es una plataforma de desarrollo centrada en un dispositivo electrónico de hardware libre y código abierto con características flexibles y de fácil manejo. Esta placa electrónica trae consigo un microcontrolador reprogramable y un conjunto de pines que le permiten comunicarse con diferentes sensores y actuadores.

#### 2.3.7.1. Arduino uno:



La placa electrónica Arduino UNO es un módulo diseñado para el desarrollo práctico y eficaz de circuitos electrónicos compatible con los diferentes módulos Arduino (VISTRONICA-SAS, 2019). Cuenta con 6 entradas análogas y 14 pines digitales en los que 6 funcionan como salidas PWM. Posee conexión USB, jack de alimentación y un botón de reset. Una de sus principales ventajas se basa en su compatibilidad con un gran número de shields.

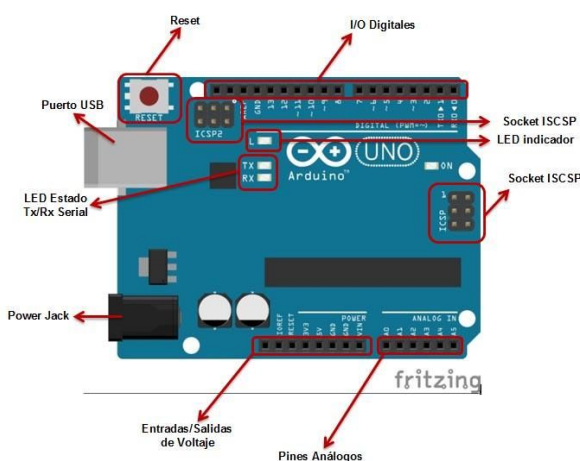


Figura 6. Arduino Uno

Especificaciones Arduino Uno	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje Operativo	5v
Voltaje de Entrada Recomendado	7 – 12 v
Pines de Entradas/Salidas Digitales	14
Pines de Entradas Analógicas	6
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son usados por Bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del Reloj	16 MHZ

Tabla 5. Especificaciones técnicas Arduino Uno

### 2.3.7.2. Arduino Mega:

La placa electrónica Arduino MEGA2560 es un módulo con características más complejas a comparación con el Arduino uno, posee una capacidad de memoria mayor lo que le permite trabajar con códigos más extensos en los que se requieren bastantes variables, además, es ideal para el manejo y monitoreo de numerosos actuadores y sensores. Esta placa tiene una resistencia en la línea 8U2 HWB a tierra, haciendo más sencillo el modo DFU (Actualización del Firmware del dispositivo) (VISTRONICA-SAS, 2019). Cuenta con 16 entradas analógicas, 54 pines digitales en los que 14 funcionan como salidas PWM y es compatible con un gran número de shields. La placa cuenta con un convertidor USB-serie, por lo que el

dispositivo puede conectarse a la computadora simplemente utilizando un cable USB.

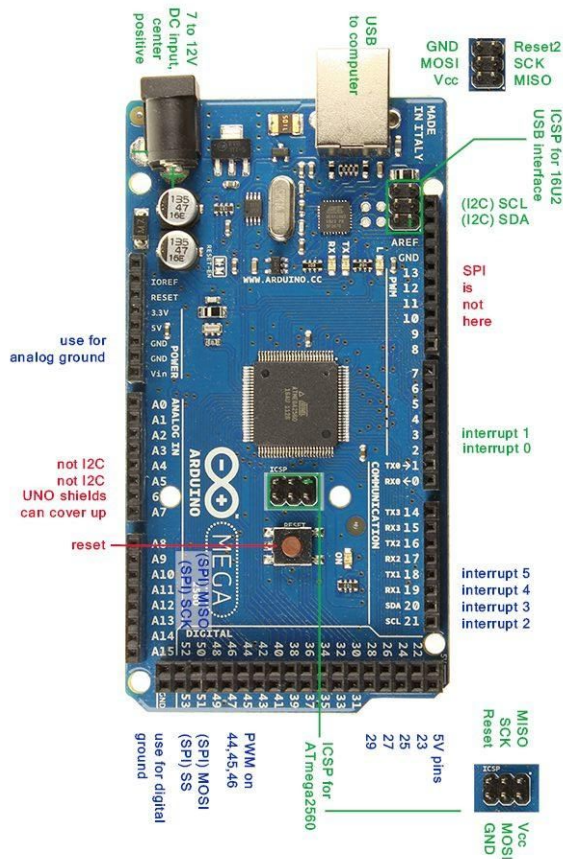


Figura 7. Arduino Mega

Especificaciones Arduino Uno	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje Operativo	5V
Voltaje de Entrada	7-12V
Voltaje de Entrada	6-20V
Pines digitales de Entrada/Salida	54
Pines analógicos de entrada	16
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 Ma
Memoria Flash	256 KB (8KB usados por el bootloader)
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V	50 mA
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16 MHz

## 2.3.8. Interface

### 2.3.8.1. BCNC

BCNC es un software utilizado en el control numérico computarizado, trabaja a partir del código G y es multiplataforma. Es un sistema robusto y rápido, es compatible con diferentes hardware. Su Interfaz es sencilla e intuitiva para las pequeñas pantallas, permite importar y exportar código G y archivos DXF. Cuenta con Botones configurables por el usuario y un gran número de herramientas y opciones para realizar sondeos en la pieza. Igualmente, es posible enlazarlo vía Web y manejarlo a través de dispositivos inteligentes. (Gallego)

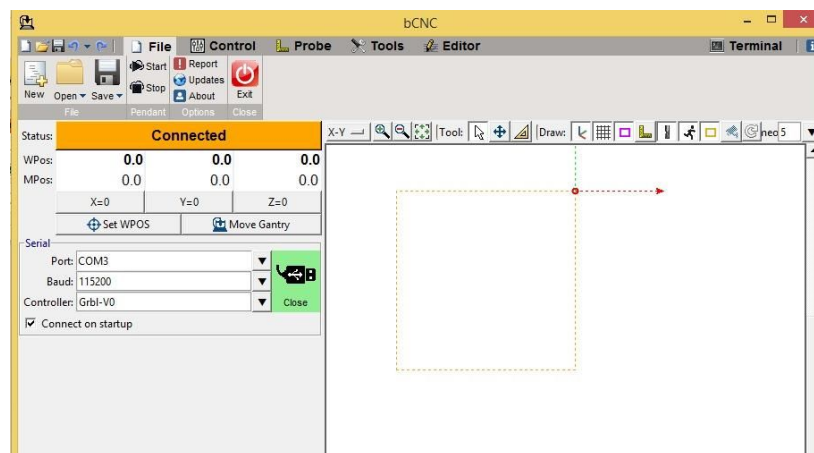


Figura 8. Interface BCNC

### 2.3.8.2. GRBLlaser

El GRBLlaser es un software capaz de cargar y transmitir la ruta de código G a una placa Arduino, así como grabar imágenes y logotipos con una herramienta de conversión interna. Al mismo tiempo, ofrece un soporte de conectividad vía WIFI. Este sistema fue desarrollado específicamente para el corte y grabado láser.

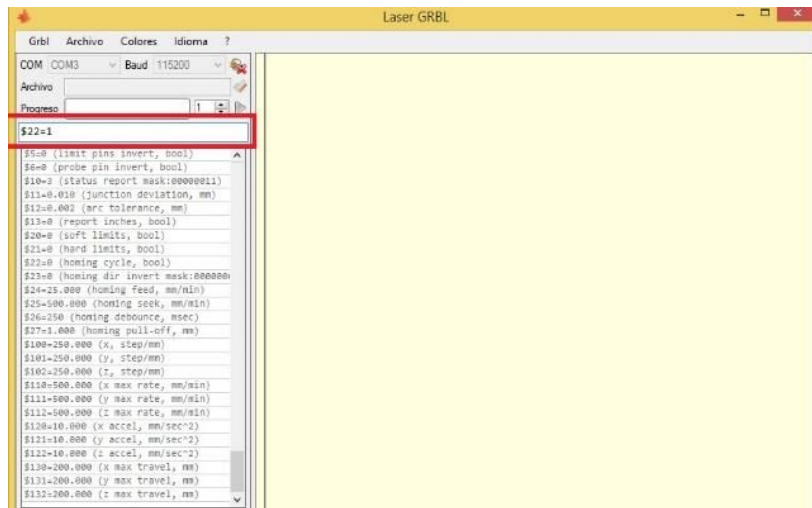


Figura 9. Interface GRBLlaser

### 2.3.8.3. Pronterface

Pronterface es un software creado especialmente para el manejo e interacción de máquinas de tipo cartesiano como las impresoras 3D o las ruteadoras CNC. Brinda la posibilidad de calibrar las distintas configuraciones del dispositivo y permite testear todos los componentes que incluye la máquina herramienta.

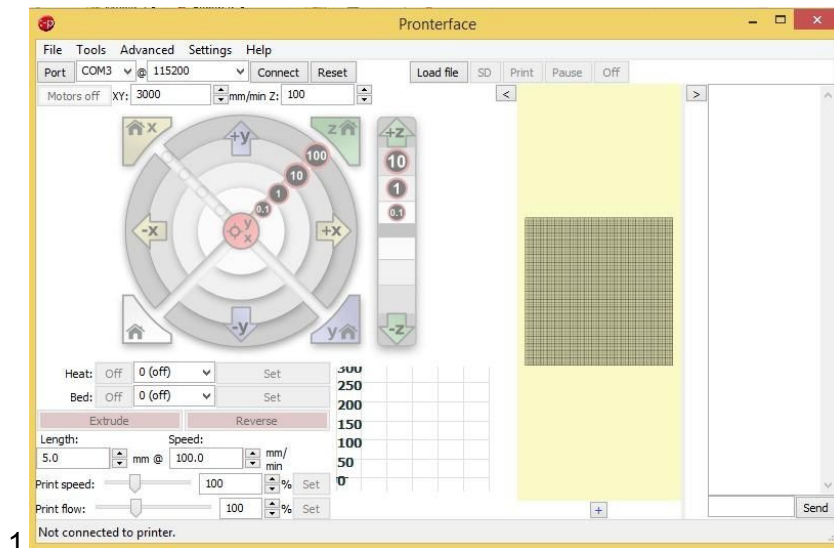


Figura 10. Interface Pronterface

## 3. DISEÑO METODOLÓGICO

---

### 3.1. Metodología

El proceso de ***diseño e implementación del prototipo multifuncional de control numérico computacional para una máquina triple de bajo costo*** se lleva a cabo a partir de diferentes etapas que cuentan con actividades específicas para el análisis de funcionamiento del prototipo. Durante este proceso se definen sus principales características y se analizan los aspectos más relevantes del hardware y software de la máquina. De igual modo, se busca la simplificación de tareas por lo que se realizan pruebas de diferente tipo que permiten optimizar los distintos procesos que debe realizar la máquina. A continuación, se muestra el esquema de actividades que deben llevarse a cabo y las acciones que deben realizarse para lograr concluir el proceso de diseño e implementación de la Máquina CNC triple.

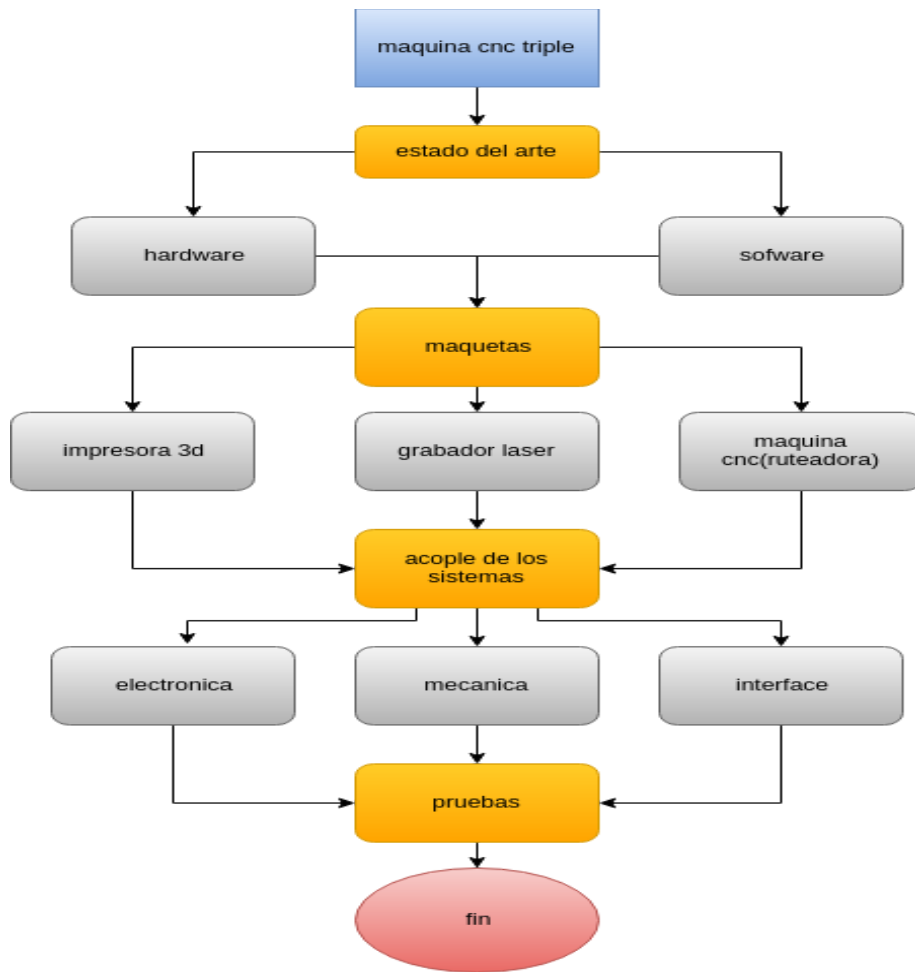


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso metodológico

## **4. DISEÑO DEL HARDWARE**

---

### **4.1. Montaje sistema**

una vez investigado el estado del arte y profundidad en los diferentes diseños de HW y SW llegamos a la construcción de la máquina CNC TRIPLE, se realizó el montaje de cada uno de los sistemas que le componen. Inicialmente se ensambló el grabador láser y a partir de la interfaz GrbLaser se configuraron los movimientos de sus motores en los ejes X y Y. Al terminar se continuó con el montaje de la ruteadora y se comprobó su funcionamiento a partir de la interface Bcnc. Por último, fue ensamblada la impresora 3D la que a diferencia de las otras dos máquinas tenía un motor (Z) adicional a la que se le realizaron algunas pruebas centradas en el funcionamiento de los tres motores que le componen.

### **4.2. Simplificación de componentes compatibles**

Debido a que las tres máquinas que conforman la CNC TRIPLE comparten el mismo principio y algunos de sus componentes, se realizó un análisis de cada una de sus partes con el fin de identificar elementos en común. Luego de establecer los elementos en común motores, end stop y drivers, se realizó una configuración en la electrónica del sistema para optimizarlo, descartando componentes repetidos y permitiendo el uso compartido de componentes para cada función de la máquina. Así se logró simplificar cada montaje obteniendo como resultado un sistema más óptimo.

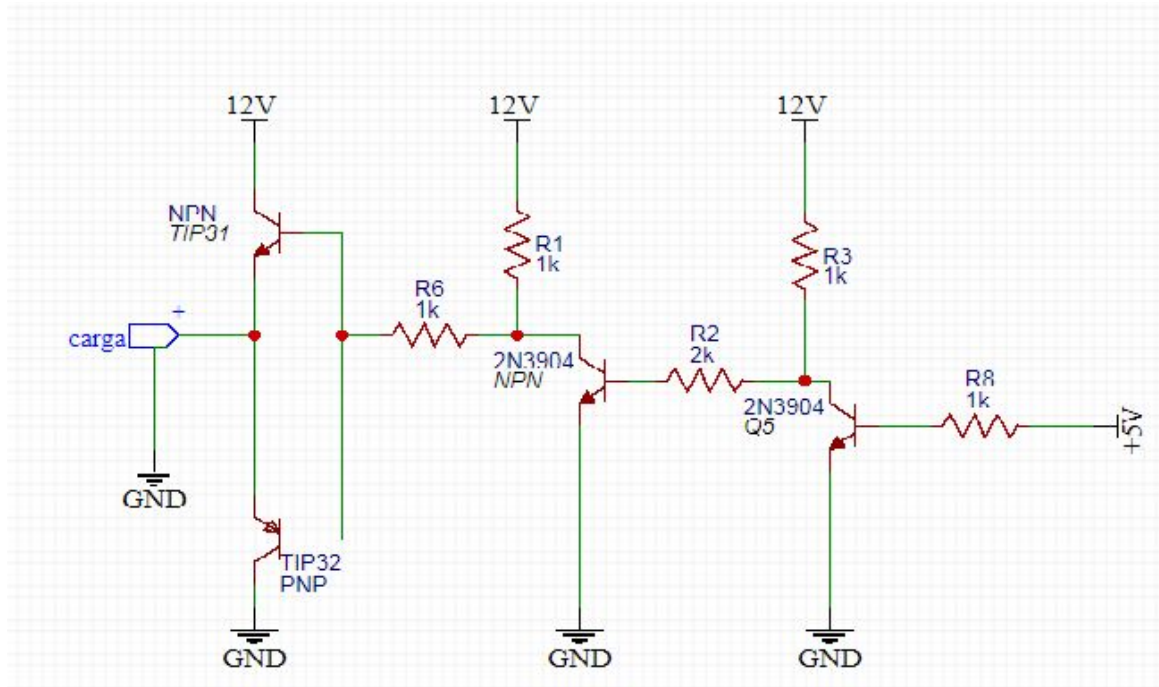
### **4.3. Modificación y rediseño de etapas de potencia**

Para lograr la optimización del sistema y su funcionamiento apropiado se realizaron modificaciones y rediseños en la etapa de potencia etapa de potencia aislamiento laser, pruebas TX y RX sin periféricos, etapa de potencia para la alimentación de arduino, lo que permitió obtener mejores resultados en la respuesta del sistema.

#### **4.3.1. Etapa de potencia para la alimentación Arduino**

Para realizar el diseño de esta etapa de potencia, se describen tres fases del circuito que pueden observarse en la figura (). La fase número uno cuenta con dos transistores bipolares Tip31 y Tip32. La fase número dos está compuesta por un

transistor NPN, la respuesta entregada en esta parte del circuito era de 10.83V en tierra, por lo que fue necesario para la tercera fase clonar la segunda etapa y así se obtuvo la respuesta necesaria.



**Figura 12.** Circuito de etapa de potencia para dispositivo Arduino

#### 4.3.2. Etapa de potencia aislamiento laser

En el diseño de esta etapa de potencia fue utilizado un dispositivo IRF con canal N, aunque lo ideal era contar con uno de canal P. Con el fin de obtener los resultados esperados fue clonada la segunda parte del circuito y de este modo se cumplió con el objetivo principal, lograr inhabilitar el ventilador de la máquina láser en el momento en que el sistema se encontrará en el modo Ruteo CNC o impresión 3D.



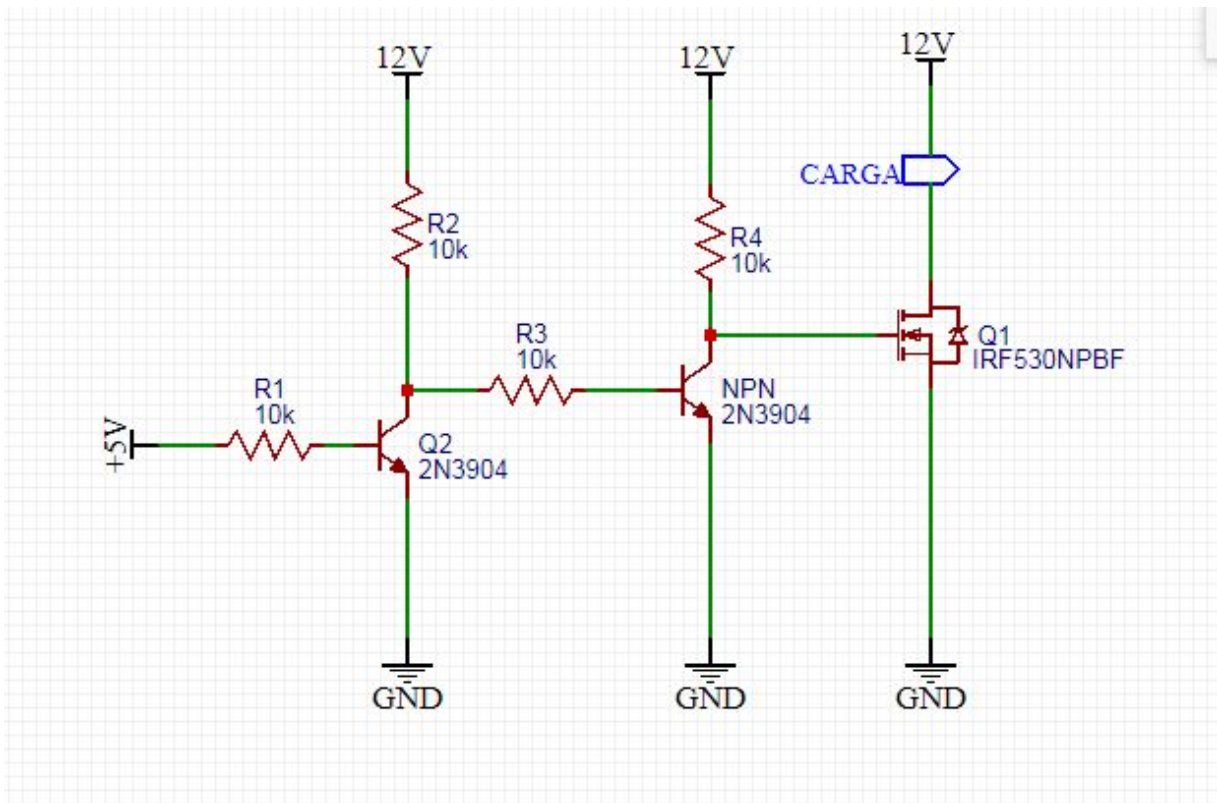


Figura 13. Etapa de potencia aislamiento láser.

#### 4.3.3. Pruebas de TX y RX sin periféricos

Para comprobar el funcionamiento del sistema se realizó una prueba de de conexión entre el integrado de comunicación y el microcontrolador, sólo es posible obtener una buena conectividad cuando uno de los integrados se encuentra encendido y los demás sin alimentación. Se observó que al realizar el corte del paso de la corriente por tierra los microcontroladores presentaban un problema de conexión, por lo que se optó por cortar la alimentación directamente desde el positivo con ayuda de un transistor en corte y saturación encargado de activar o desactivar el microcontrolador administrador. Así se logró la conectividad entre el integrado de comunicación y el microcontrolador sin ningún problema.

#### 4.3.4. Acople Ruteadora CNC, Láser e Impresora 3D

##### 4.3.4.1. Distribución eléctrica

En la figura número (???) se observa el diagrama de distribución de carga eléctrica. En el que es posible visualizar los componentes que necesitan una tensión de 12V y aquellos cuya tensión no supera los 5.8V. Para obtener un funcionamiento óptimo del circuito se utilizó un convertidor Buck, configurado a un poco más de 5V para evitar posibles caídas de tensión provocadas por diodos.

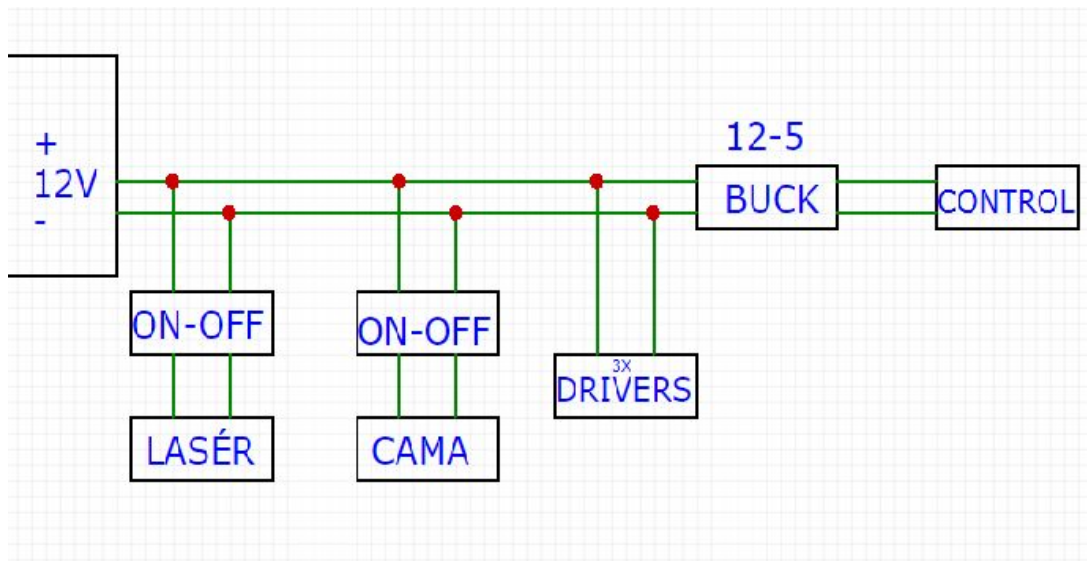


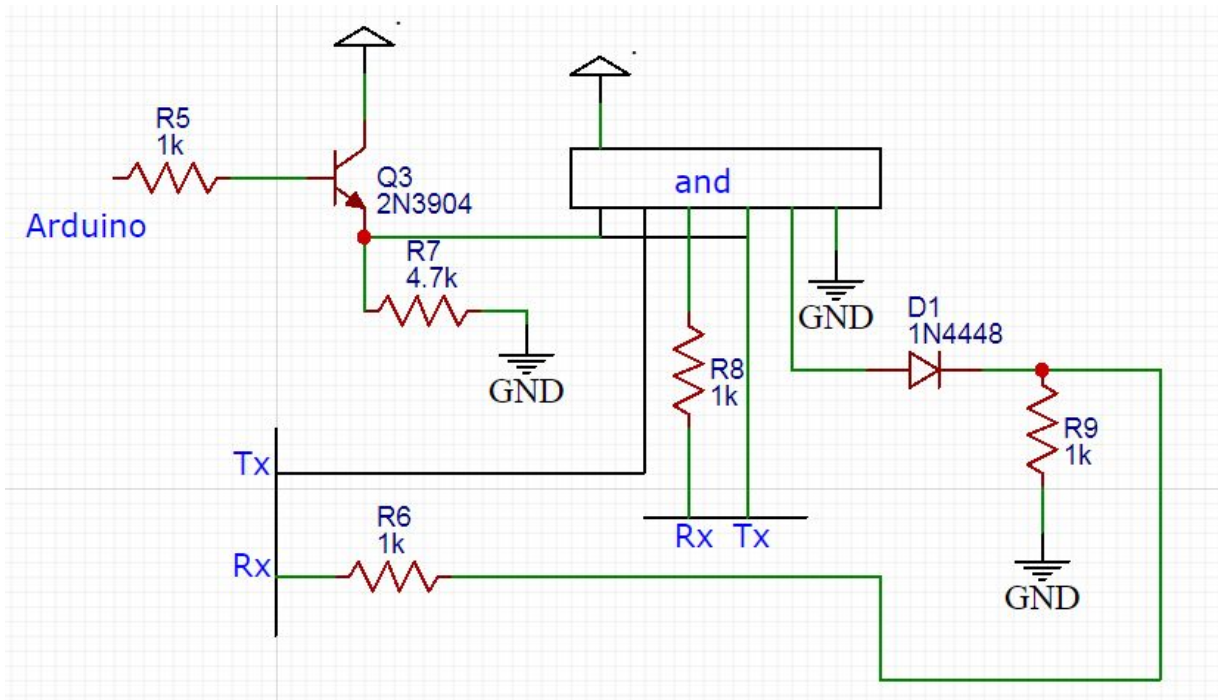
Figura 14. Diagrama de distribución eléctrica



Figura 15. Convertidor Buck 12-5 V

##### 4.3.4.2. Comunicación TX, RX y Reset de cada modo de operación

En la figura número (16), se establece el diagrama de conexiones funcionales del transmisor (TX) y receptor (RX) en cada modo de operación del sistema: Ruteadora CNC, Láser e impresora 3D. Se utilizaron diodos de germanio con una caída de tensión de 0.2V, además de una compuerta AND para la demultiplexación de TX y RX. Este mismo principio fue utilizado para demultiplexar la salida del reset. En la figura número (18) se muestra el convertor ISP conectado al circuito descrito anteriormente.



**Figura 16.** Imagen funcional de comunicación tx y rx para cada modo

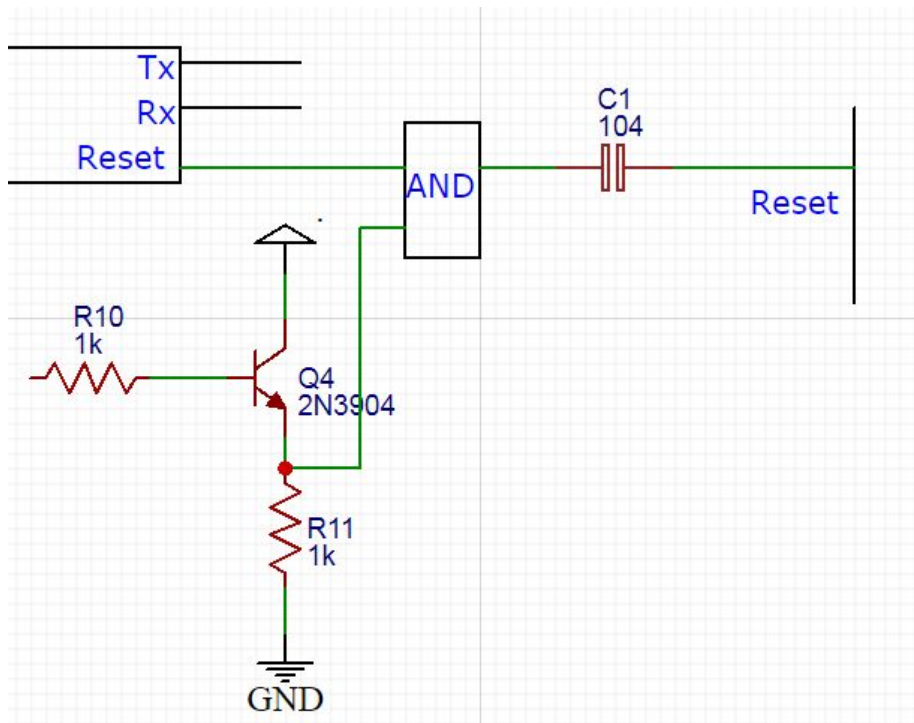


Figura 17. Imagen funcional del reset

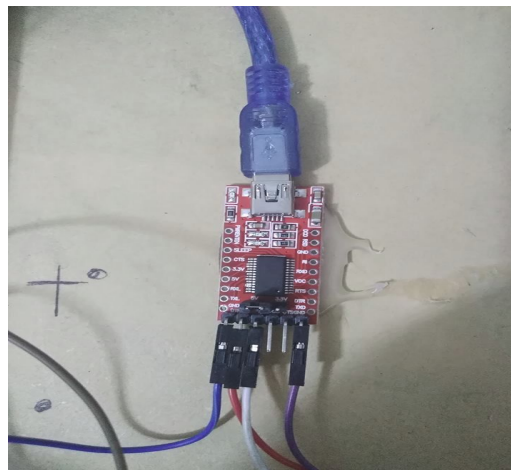


Figura 18. Convertidor de ISP a TX y RX

#### 4.3.4.3. Selección y control de modos

El diagrama de la figura número (19) permite controlar los tres modos de operación de la máquina CNC Triple. Además, gracias a él es posible realizar el control de buffers, compuertas AND, finales de carrera y todo aquello que se encuentre relacionado con los modos compartidos. Como, por ejemplo

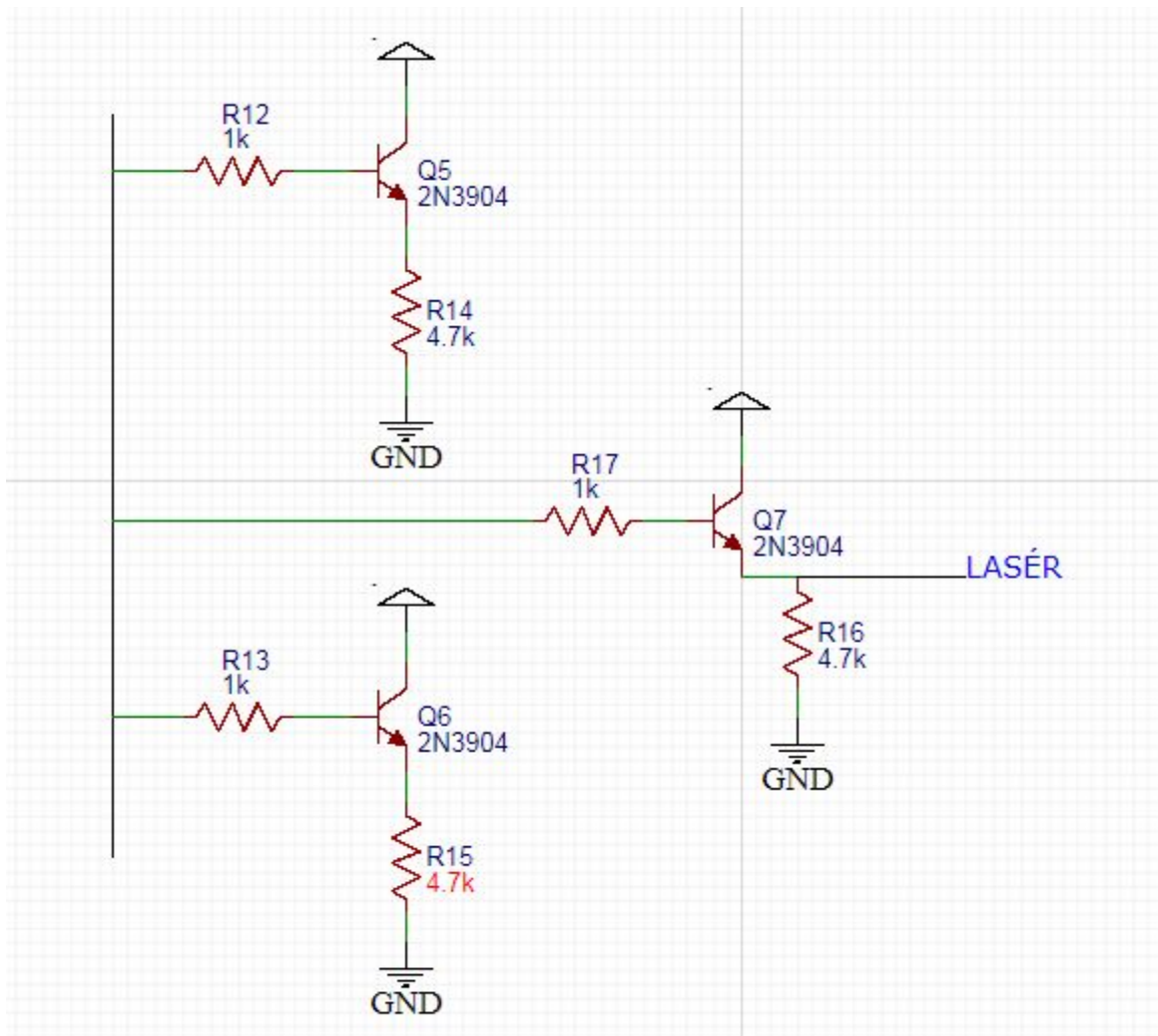


Figura 19. Diagrama de conexiones modo ruteadora CNC, láser e impresión 3d

#### 4.3.4.4. Aislamiento de los driver

El aislamiento de cada uno de los drivers era necesario debido a que al compartir algunos pines los arduinos no contaban con la cantidad necesaria de pines, generando que el sistema no funcionase de forma correcta. Se realizaron pruebas utilizando algunos diodos para mejorar los problemas presentados, pero estos eran propensos a fallas constantes, por lo que se optó por utilizar Buffers que contaban con la cantidad de pines necesaria y permitían el correcto funcionamiento del sistema. Se recomienda utilizar buffers de calidad, por su respuesta más eficaz y óptima en comparación con los dispositivos más económicos.

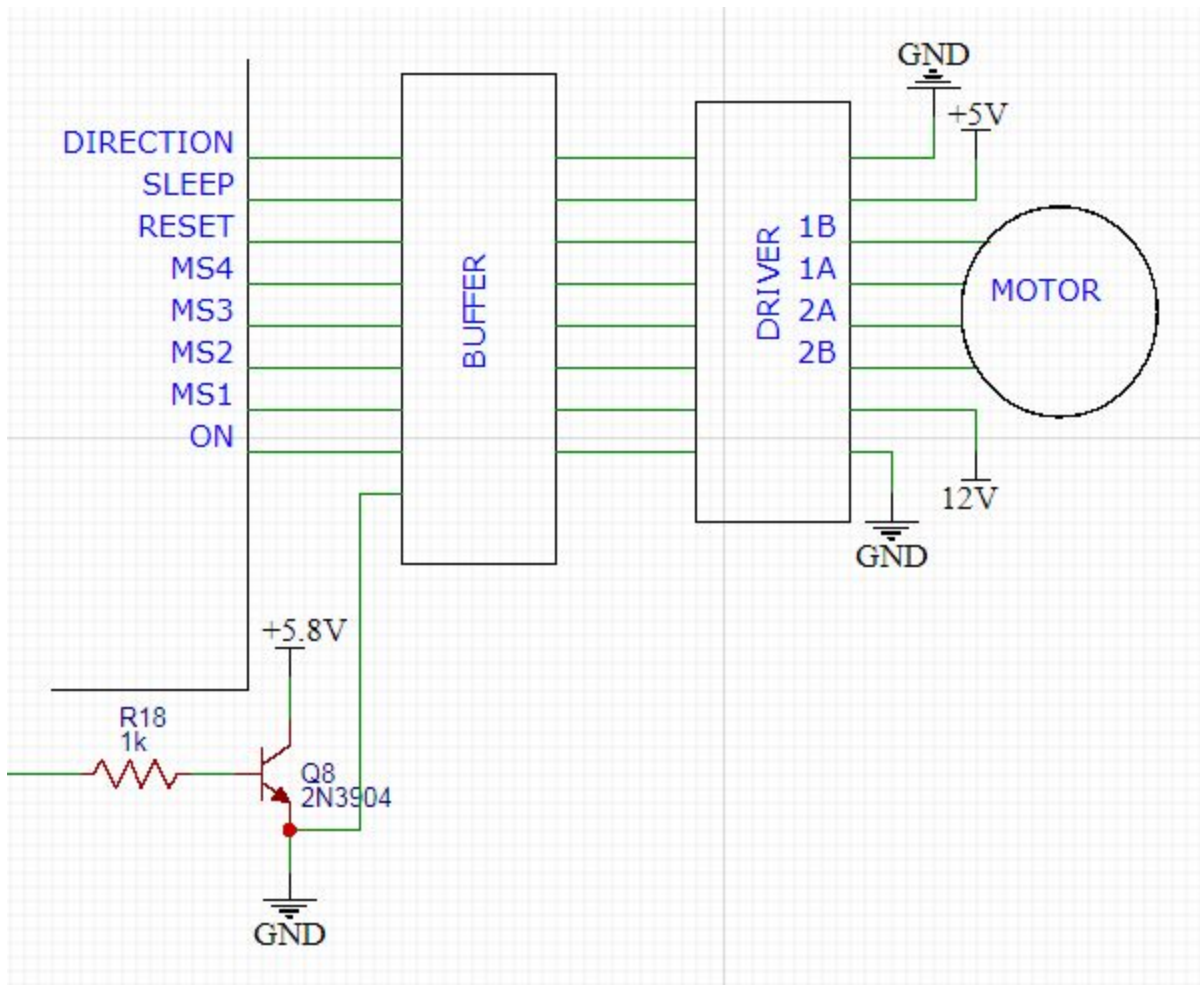


Figura 20. Diagrama de conexiones motor, rampas, arduino, driver y buffer.

#### 4.3.4.5. Finales de carrera

Con la ayuda transistores se habilita un buffer, el cual se encarga de negar la demultiplexación de las salidas hacia los diferentes Arduinos. En las figuras (21-25) se pueden observar las conexiones para cada uno de los modos de operación de la máquina CNC Triple.



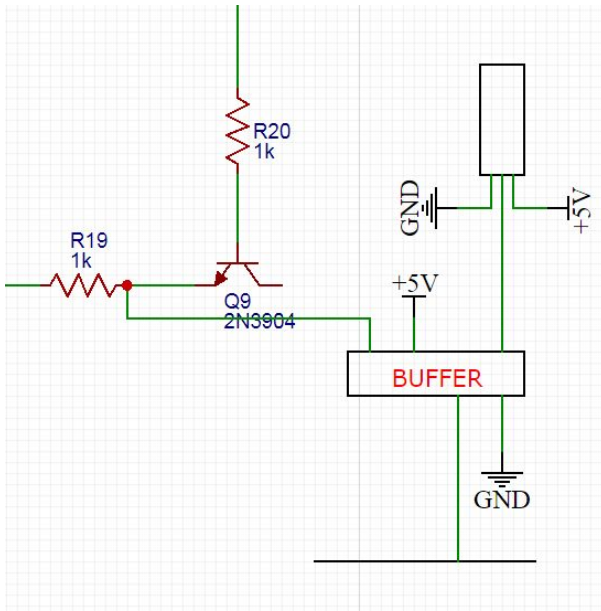


Figura 21. Diagrama de conexión para los ejes X, Y y Z



Figura 22. Finales de carrera aislados para cada eje



Figura 23. Ruteadora CNC

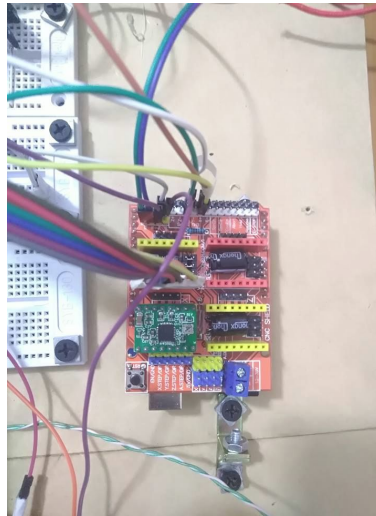


Figura 24. Láser

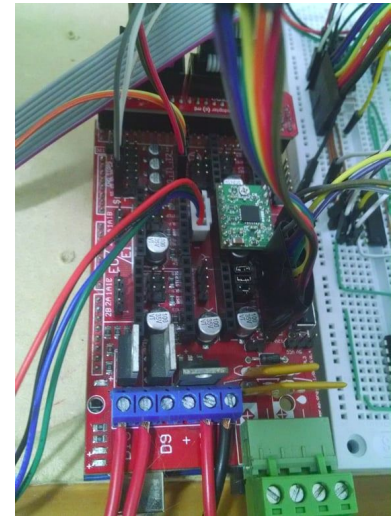


Figura 25. Impresora 3D

#### 4.3.4.6. Motores

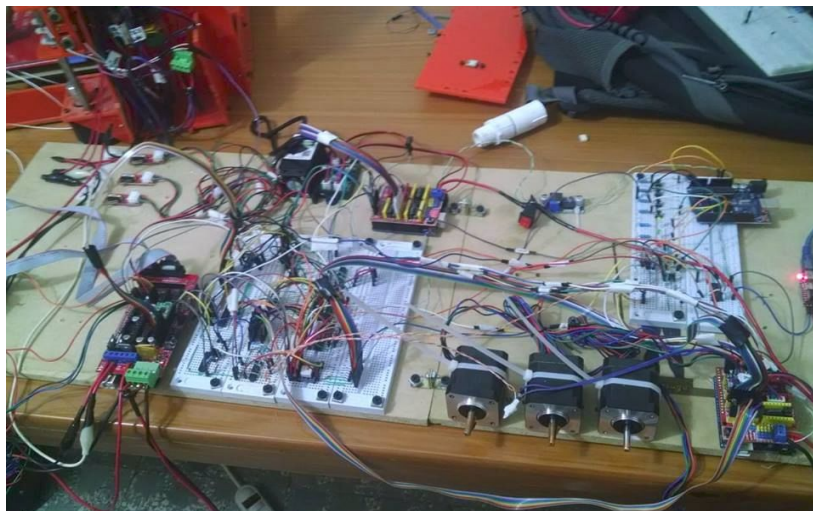
En la figura (26) se observan los tres motores utilizados en la máquina CNC Triple, para el movimiento en los ejes X, Y y Z en cada uno de sus modos de operación.



**Figura 26.** Motores de los ejes X, Y y Z

#### **4.3.4.7. Montaje Final**

Se realizó el acople de cada una de las etapas del sistema y se hicieron diferentes pruebas para comprobar la eficiencia del funcionamiento del sistema. Se realizaron impresiones en cada uno de los modos operativos de la máquina CNC Triple sin apagarla. No se presentaron inconvenientes en la comunicación de los diferentes dispositivos involucrados y las tareas propuestas para la máquina fueron desempeñadas con éxito.



**Figura 27.** Montaje final del sistema CNC Triple



## 4.4. Configuración del eje Z

### 4.4.1. Diagrama configuración eje Z

Inicialmente se crearon tres códigos individuales con objetivos diferentes. El primero de ellos fue hecho para el pulsador del encoder rotativo en dos estados; el segundo se centró en el end stop con el motor y; por último, el número tres para el control de la dirección CLK y DT del encoder rotativo. Al terminar estos códigos fueron agrupados y simplificados para obtener la lógica del diagrama de la hipótesis 1 de la configuración del eje Z. Para optimizar la eficiencia del sistema se mejoró la rotación del motor y se creó un contador en el encoder rotativo para que este empezara desde cero y pudiese parar en una cantidad de pulsos predeterminada.

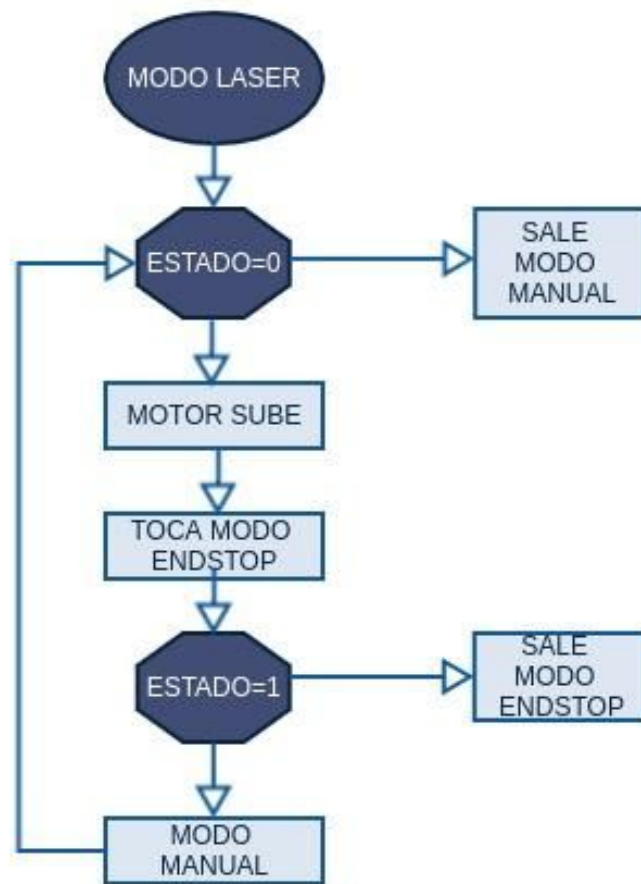


Figura 28. Diagrama de bloques para el eje Z

#### **4.5. Modificación de software e interfaces en los 3 modos**

En esta parte del proceso se buscaba utilizar el código Marlín para cada uno de los modos operativos de la máquina y lograr optimizar aún más. Fueron realizadas varias pruebas para implementar este tipo de código en el sistema, pero no fue posible porque era necesario crear una interface nueva, lo que requería tiempos de trabajo muy largos. Por esta razón se tomó la decisión de manejar una interfaz diferente para cada modo de operación de la máquina, los softwares seleccionados fueron: gbrlaser, bcnc y proferface.

## 5. DISEÑO PLACAS

---

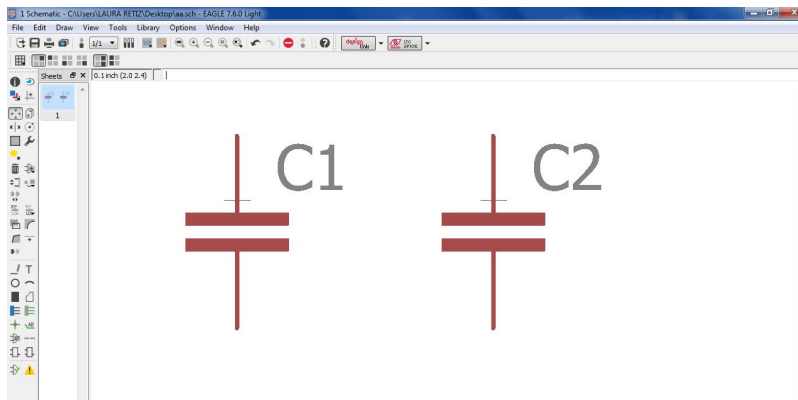
### 5.1. Software EAGLE

Eagle es un software CAD centrado en el diseño electrónico que permite crear placas de circuito impreso (PCB). Brinda al usuario la posibilidad de conectar distintos diagramas esquemáticos, manejar componentes de diferente naturaleza y, además, ofrece una herramienta de auto enrutado que permite mejorar y optimizar los diseños desarrollados por el usuario.

Eagle es un software multiplataforma que puede manejarse en diferentes sistemas operativos como Windows, Linux y Mac, lo que refiere una gran ventaja a comparación con otros softwares de diseño que generalmente no cuentan con esta habilidad. Es un software ligero que no necesita gran capacidad de memoria ni de una máquina muy robusta para su funcionamiento, es de bajo costo y cuenta con una versión gratuita que proporciona herramientas suficientes para la creación de diferentes circuitos impresos. Una de las principales ventajas de este software es su reconocimiento por parte de diferentes comunidades de desarrolladores, gracias a que los archivos de diseño Arduino se encuentran publicados en su formato.

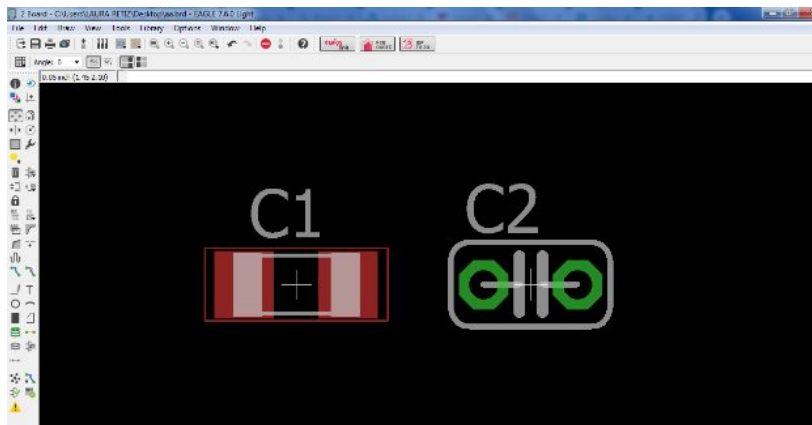
### 5.2. Elaboración de librerías

Una de las tareas que deben desarrollarse al iniciar un proyecto es la búsqueda de las librerías que permitirán la creación del diseño, si el software no cuenta con las librerías necesarias estas deben ser creadas por el usuario, con el fin de obtener los mejores resultados a la hora de trabajar. Para el desarrollo de una placa de circuito impreso es muy importante que las medidas de cada componente sean exactas, por lo que no deben realizarse aproximaciones y debe tomarse como referencia la medida real de cada elemento.



**Figura 29.** Hoja de diseño software Eagle

En la ilustración número (29) se observa la selección de dos capacitores y su posterior adición a la hoja de diseño, a simple vista parecen ser dos resistencias completamente iguales. En el diseño esquemático es posible visualizar las diferencias entre estos dos elementos, el primero corresponde a una resistencia SMD, mientras el segundo es una resistencia Through Hole. Es importante tener en cuenta el tipo de elemento que se desea utilizar y su naturaleza, puesto que el software ofrece una gran cantidad de componentes que, aunque presentan grandes semejanzas presentan características completamente diferentes.



**Figura 30.** Diagrama esquemático software Eagle

Es posible que al realizar el diseño de una placa PCB no se encuentren todos elementos del circuito en las librerías que ofrece el software Eagle. Para contrarrestar este problema pueden descargarse las librerías directamente de la red o crearse, para esto deben tenerse en cuenta sus características reales, por lo que se debe ser preciso y exacto, con sus longitudes, para que case perfectamente en la placa.

### 5.3. Elaboración de Placas

Para la elaboración de la placa es necesario contar con todos los elementos que harán parte del circuito, en este punto son importantes las habilidades de diseño y estética para lograr obtener una placa precisa que cumpla con las exigencias del circuito y se ajuste perfectamente a sus elementos. La parte más importante en la que se debe trabajar es en el esquema o board, porque es allí donde se dará vida a la forma de la placa, esta debe organizarse de forma estética y visualmente atractiva, la placa debe contar con características óptimas de funcionamiento, así como con un asertivo visual.

Para el desarrollo de la máquina CNC TRIPLE fue necesario el diseño de diferentes placas, se creó una placa individual para los cabezales de la impresora 3D, el grabador láser y la CNC ruteadora, además de la mainboard, la placa principal. Se desarrolló una placa para el frente de la máquina y dos más para los conectores de los motores que le rodean.

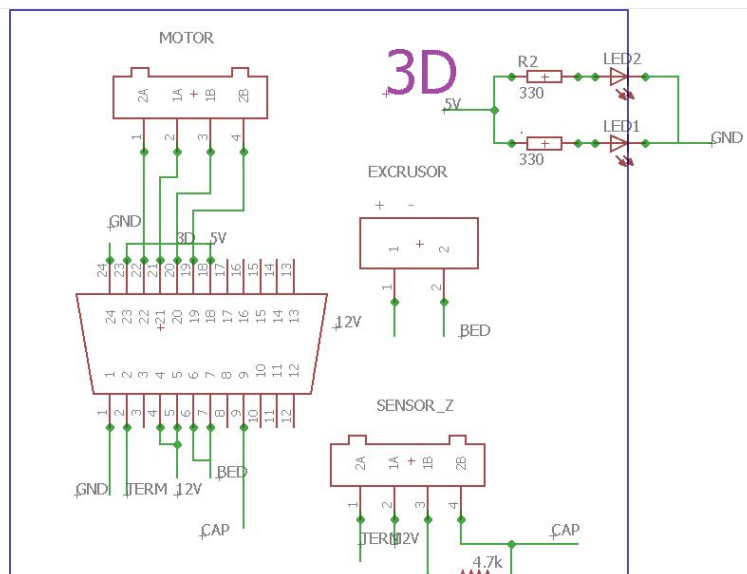


Figura 31. Esquema cabezal impresora 3D

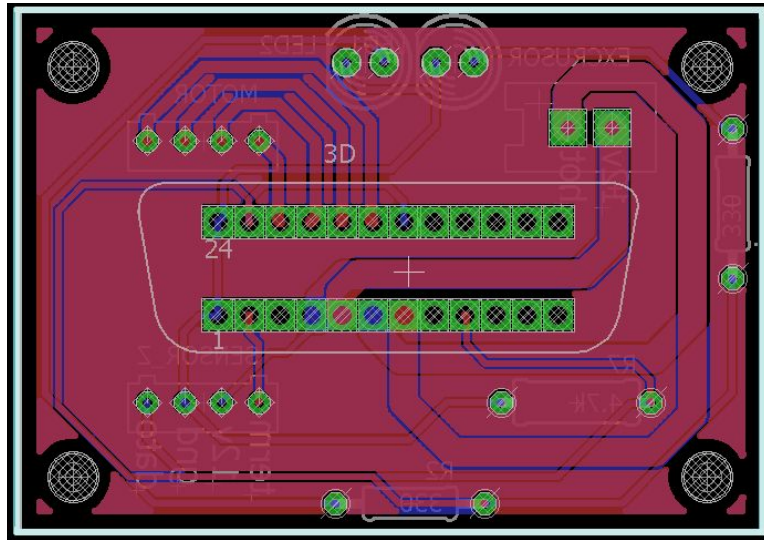


Figura 32. Diseño esquemático cabezal impresora 3D

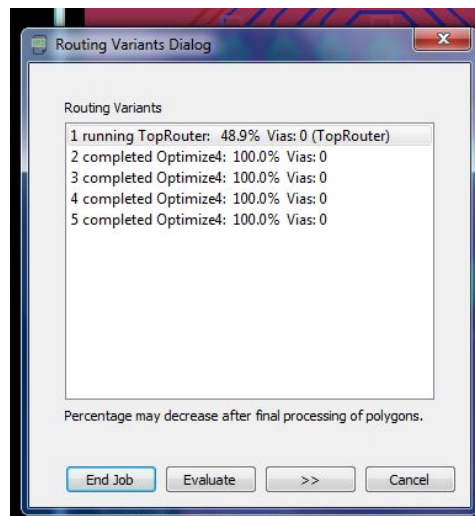


Figura 33. Verificación de funcionamiento con herramienta de ruteo

Para determinar si una placa estaba lista fue necesaria la herramienta de ruteo, quien se encarga de confirmar al usuario si la placa presenta algún inconveniente o si por el contrario logra un 100% en su enrutamiento, es decir que se encuentra lista para su impresión. Con la comprobación de cada una de las placas se continuó con el envío de los diseños para su fabricación física en China. Las placas tardaron un aproximado de treinta días en llegar a Colombia, podemos ver una de las tarjetas en la ilustración (34) llamada la placa Mainboard que es la placa más extensa de la

máquina y en la ilustración (35) observamos las diferentes placas internas de los cabezales.

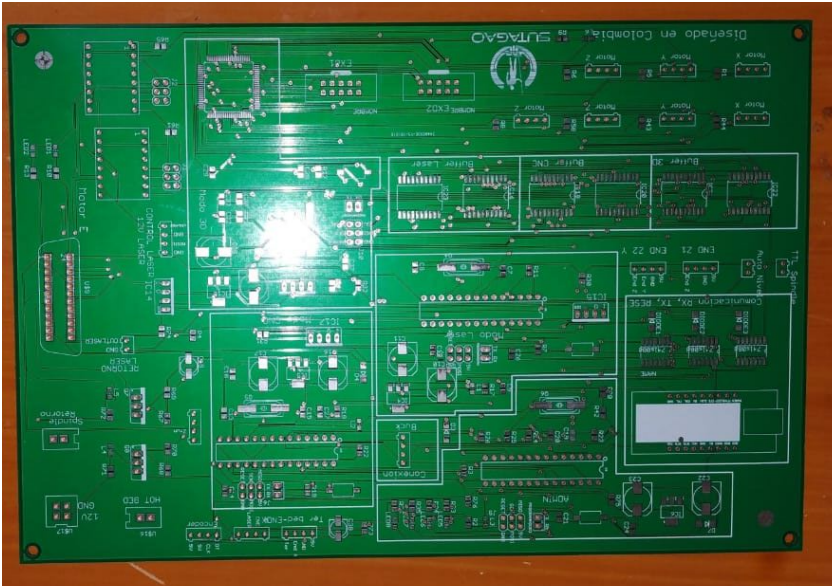


Figura 34. Placa Mainboard

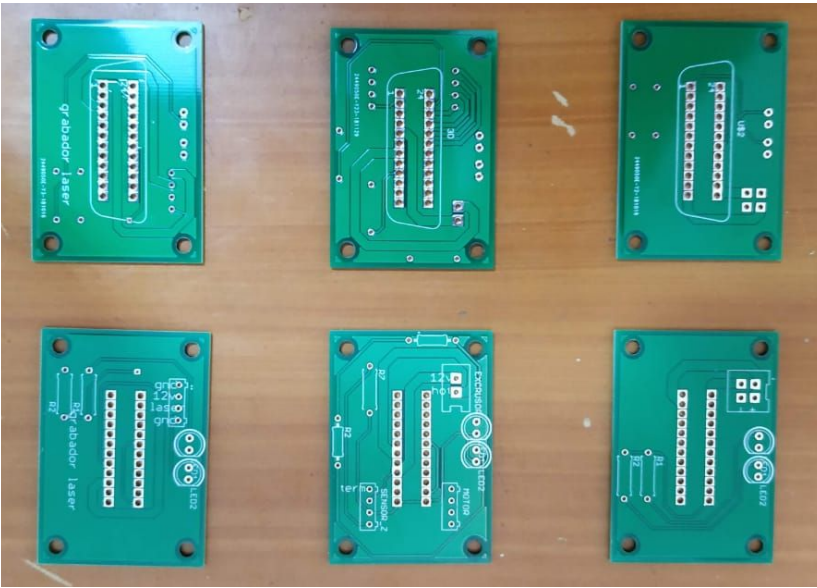
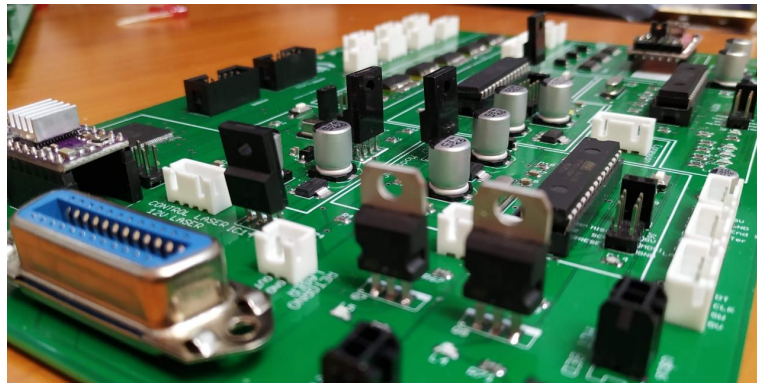


Figura 35. Placas para los tres cabezales

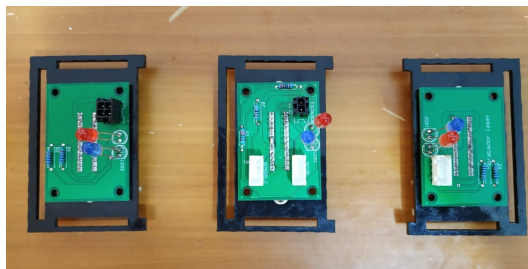


## 5.4. montaje de componentes

Para el proceso de montaje inicialmente fueron ubicados los componentes electrónicos de superficie, quienes son utilizados para minimizar el espacio y lograr una reducción en los costos. Entre estos elementos podemos encontrar transistores, diodos, leds, resistencias, capacitores electrolíticos y capacitores cerámicos. Como segunda etapa del proceso de montaje fueron ubicados los componentes Through-Hole, quienes cuentan con agujeros en la placa cuyas medidas son exactas y casan perfectamente con cada uno de ellos.



**Figura 36.** Mainboard



**Figura 37.** Cabezales



## 6. DISEÑO DEL ÁREA DE TRABAJO

---

### 6.1. Estructura de soporte

La CNC TRIPLE es una máquina capaz de realizar perfectamente las tareas de una impresora 3D, un grabador láser y una máquina CNC ruteadora, cuenta con cabezales que pueden ser intercambiados según las necesidades del usuario. Presenta un diseño simplificado que permite una experiencia única gracias a su versatilidad, calidad y fácil manejo. Se compone de una estructura de aleación de aluminio que le confiere robustez y estabilidad como se puede ver en la ilustración (38) y (39), cuenta con un tamaño de 670x665x585 mm, opera con el sistema operativo Windows y necesita una fuente de alimentación de 110-220V AC.

Uno de los componentes de mayor relevancia en la construcción de la CNC TRIPLE fueron los rodamientos de los ejes, por ello se optó por importar cada eje con el fin de lograr la mayor exactitud y funcionamiento óptimo de la máquina. El tiempo de armado de la máquina CNC TRIPLE fue de aproximadamente quince días en los que se realizaron diferentes cambios mecánicos con el fin de mejorar su funcionamiento.

#### 6.1.1. Impresora 3D

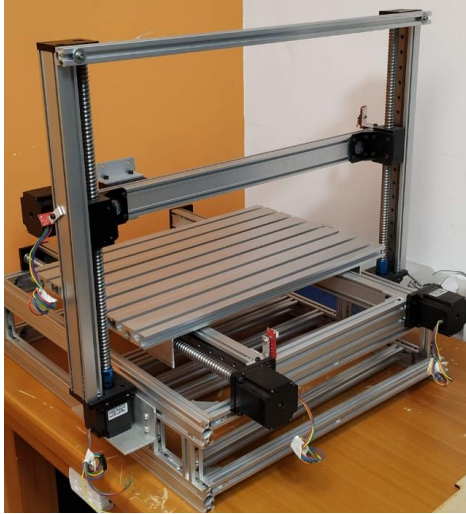
La impresora 3D ofrece un volumen de impresión de 300x300x300 mm, con filamentos de PLA y ABS. La máquina le permitirá al usuario recrear objetos con dimensiones y longitudes específicas, permitiendo un sin fin de posibilidades enfocadas al diseño y creación de diferentes elementos tridimensionales, desde prototipos hasta piezas terminadas.

#### 6.1.2. Grabador Láser

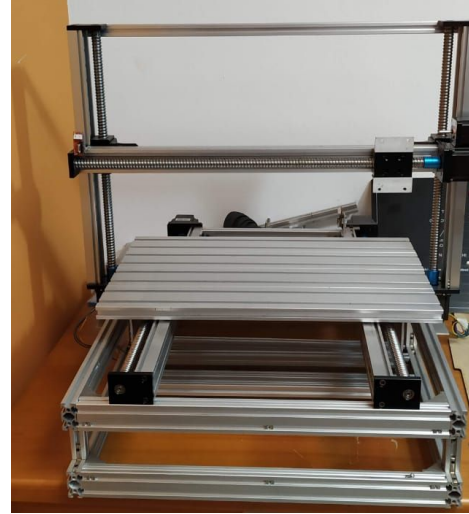
El grabador láser cuenta con un área de grabado de 300x500 mm, usa un láser de 1W y una longitud de onda de 450 nm. Esta máquina le permitirá al usuario trabajar en diferentes tipos de materiales como: madera, bambú, cuero, plástico, papel y tela.

#### 6.1.3. Ruteadora CNC

La ruteadora CNC posee una superficie de 300x500 mm, en la que el usuario podrá esculpir y modificar la forma de sus piezas, además, de ser perfecta para la creación de circuitos impresos. Trabaja en materiales cuyas características son variadas como: madera, plástico, acrílico y PCB.



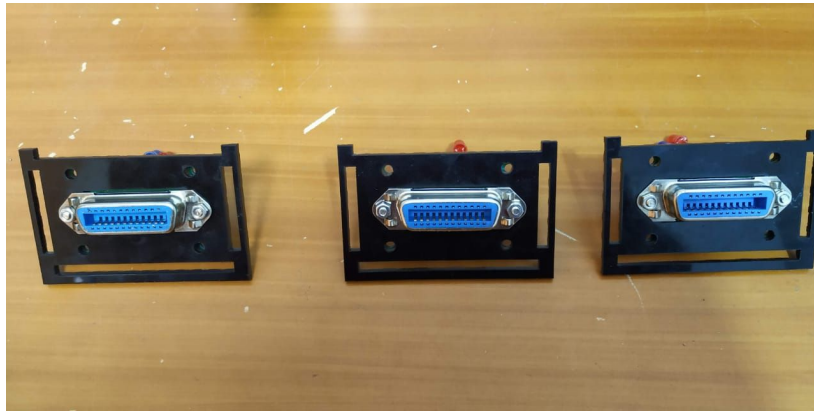
**Figura 38.** Estructura de soporte vista desde el lateral



**Figura 39.** Estructura de soporte vista de frente

## **6.2. Diseño cabezales**

Para el realizar el diseño de los cabezales se utilizó el software Corel Draw, en el que se especificaron sus características y dimensiones. Cada cabezal tiene una medida base de 11x10cm, además, cuenta con dos perfiles, esta característica le permite realizar el acople con el resto de la máquina. Los cabezales poseen un conector catronic hembra de 24 pines encargado de realizar la comunicación con la MainBoard y proporcionar la energía necesaria para realizar el trabajo en cada uno de los modos operativos de la máquina.



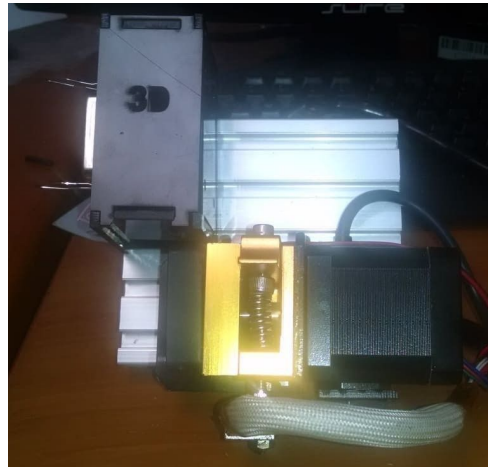
**Figura 40.** Parte exterior de los conectores

	Cabezal CNC Ruteadora	Cabezal impresora 3D	Cabezal Láser
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia 500w</li> <li>• Spindle o husillo 12000 RPM con diámetro de 52mm</li> <li>• Torque 550 N.m</li> <li>• imagen (41)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia 36w</li> <li>• Extrusor</li> <li>• Motor nema 17</li> <li>• Calentador de 9x6cm</li> <li>• imagen(42)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• potencia 1w</li> <li>• longitud de onda 450nm</li> <li>• Láser:</li> <li>• Ancho 33 mm Largo 75.12mm Alto 33 mm</li> <li>• imagen(43)</li> </ul>

**Tabla 7.** Características de los cabezales de la máquina CNC TRIPLE



**Figura 41.** Cabezal ruteadora CNC



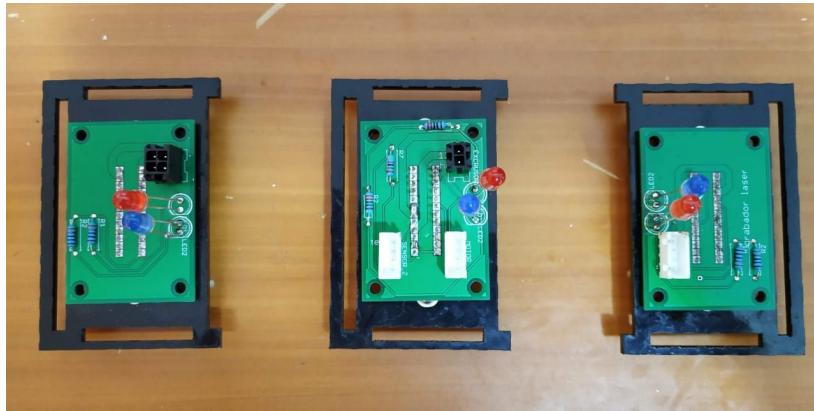
**Figura 42.** Cabezal impresora 3D



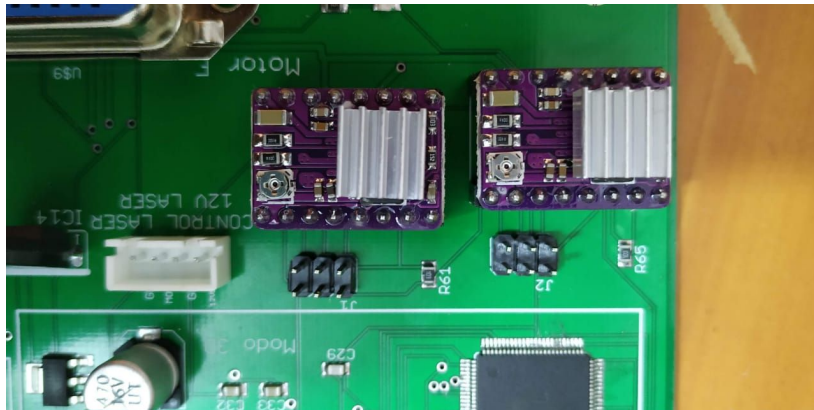
**Figura 43.** Cabezal láser

### 6.3. Ensamblaje

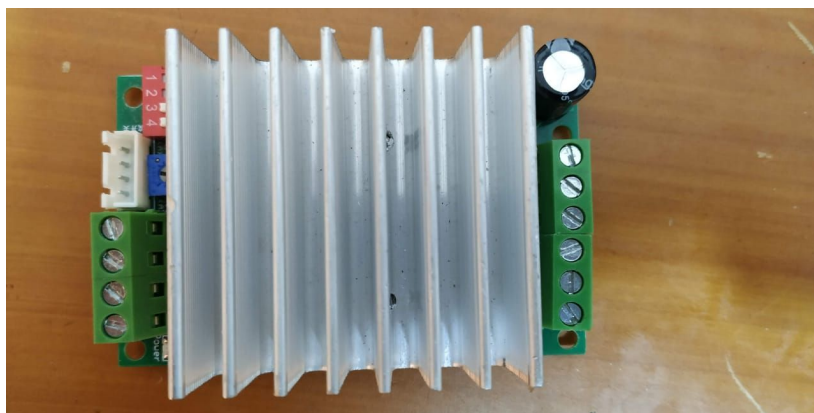
Una vez terminada la estructura base y el diseño de los cabezales se realizó el ensamble de cada una de las partes que conforman la CNC TRIPLE. Inicialmente se ubicaron los elementos que conforman el circuito electrónico de la máquina, continuando con el posicionamiento de los cabezales en la figura (44). En el proceso de ensamble se analizó el comportamiento de los driver DRV8825 en la figura (45), quienes proporcionan una corriente de 1,5 amperios de forma continua y hasta 2,2 A con refrigeración adicional, a pesar de esto no cumplían con los parámetros requeridos por el sistema por lo que fueron reemplazados por los Driver Motor Paso a Paso TB660 de 4.5A en la figura (46), cuyas características permitieron mejorar notablemente el funcionamiento de los motores de la máquina, contribuyendo al mejoramiento del desempeño y respuesta del sistema.



**Figura 44.** Ensamble parte electrónica de los cabezales

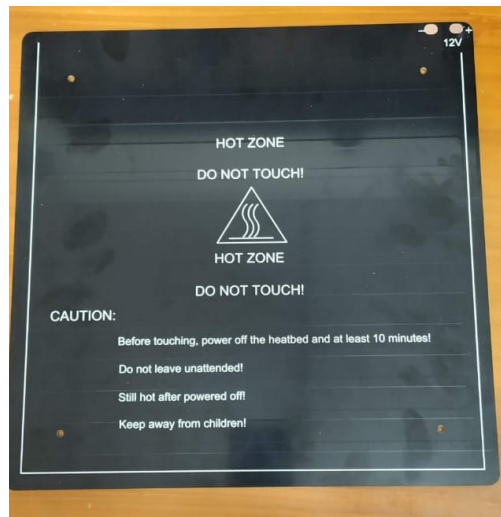


**Figura 45.** Montaje driver DRV8825



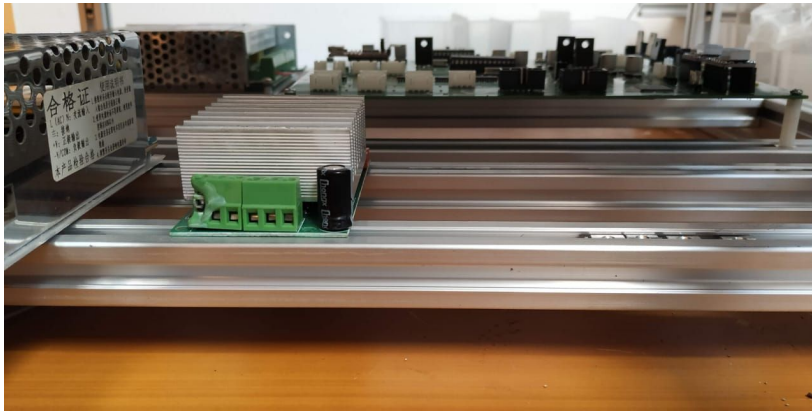
**Figura 46.** Montaje Driver TB660

Teniendo en cuenta las dimensiones de la máquina se hicieron algunas modificaciones como es el caso de la cama caliente, porque la máquina CNC TRIPLE es amplia y ofrece un espacio de trabajo extenso se optó por utilizar una cama caliente más grande a la prevista, con una magnitud de 500x500 mm figura (47). En la parte interna de la máquina fueron instalados los drivers y la placa principal como se puede ver en la figura (48), posteriormente se realizaron las conexiones pertinentes de cada uno de los dispositivos figura (49). Por último se instalaron las tapas de la máquina en cada uno de sus laterales, con ayuda de material acrílico figura (50) dotado de espacios que permitieran una buena distribución y comodidad para realizar el proceso de encendido y conexión de los motores y cada uno de los puertos de entrada del sistema.

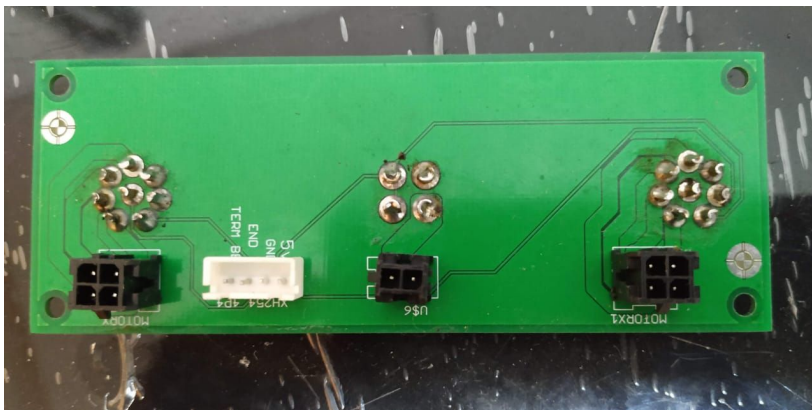


**Figura 47.** Cama caliente 500x500mm





**Figura 48.** Montaje interno CNC TRIPLE



**Figura 49.** Placa de conexión para motores interna



**Figura 50.** Placa de conexión para motores externa

## 7.PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Cantidad	descripción	precio unidad	precio total
Materiales generales			
6	Motor Paso a Paso 5.6Kgcm	\$ 55.930,00	\$ 335.580,00
1	Shield RAMPS 1.4	\$ 22.000,00	\$ 22.000,00
1	Pantalla LCD 20X4	\$ 57.001,00	\$ 57.001,00
6	Driver Motores Paso a Paso DRV8825	\$ 13.000,00	\$ 78.000,00
2	Arduino CNC Shield V3	\$ 23.800,00	\$ 47.600,00
3	Arduino UNO R3	\$ 24.990,00	\$ 74.970,00
1	FUENTE CONMUTADA 12V 20A	\$ 99.960,00	\$ 99.960,00
3	Endstop óptico-finales de carrera	\$ 7.140,00	\$ 21.420,00
	Resistencias, integrados, conectores, pulsadores.		\$ 100.000,00
Grabador láser			
1	Cabezal Láser Color Azul Violeta De Grabado 1W 450nm	\$ 204.680,00	\$ 204.680,00
Máquina cnc			
1	Fuente de Poder 110VDC para Spindle 500W	\$ 226.100,00	\$ 226.100,00
1	Spindle o Husillo 12000 RPM 110VDC ER11 500W + Soporte	\$ 291.550,00	\$ 291.550,00
Impresora 3D			
1	Sensor De Proximidad Capacitivo LJC18A3-B-Z/BX NPN	\$ 41.650,00	\$ 41.650,00
1	TURBOVENTILADOR PARA	\$ 13.090,00	\$ 13.090,00
1	Hotbed (Cama Caliente) para Impresora 3D	\$ 47.000,00	\$ 47.000,00
Estructura			
	soporte estructura en aluminio		
	soporte estructura en acrílico		
	varillas		
	tornillos tuercas		
	rodamientos		
	cables		
	total de la estructura		\$ 300.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 1.960.601,00</b>

**Tabla 8.** Presupuesto del proyecto



## 8. CONCLUSIONES

---

Inicialmente se planteó de que se podría utilizar una sola interfaz para la máquina comprobamos que modificando el firmware Marlin podríamos llegar a ese objetivo, pero en las pruebas resultó que era muy complejo y se optó por trabajar con las interfaces anteriormente requeridas de cada máquina.

La máquina requería una estructura que soportara una área de trabajo de 50x50cm se usó material de aluminio basándonos en las anteriores máquinas de vistrónica con la experiencia y material disponible.

En la parte mecánica se tenían falencias esto debido a que no contábamos con un ingeniero mecánico en la empresa, se realizaron pruebas mecánicas modificando para poder llegar a buenos resultados muchas veces utilizando la regla de 3.

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

- Álvarez, A. (2019). *Fundamentos en impresión 3D con Prusa i3 Steel*.
- Cuiqing Lin, W. L. (2016). Numerical control system design based on surface reconstruction technology. *International Conference on Smart City and Systems Engineering*, 4.
- Gallego, I. G. (s.f.). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL NUMÉRICO EN LAZO ABIERTO PARA UNA FRESADORA INDUSTRIAL DE 3 EJES*. Cartagena, España.
- Jose Gabriel Arpi Trujillo, D. R. (2013). *Implementación de un Sistema de Control para una Máquina CNC Láser*. Cuenca, Ecuador .
- MARÍN, F. B. (2012). MÓDULO CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO. En U. A. (UNAD). NEIVA COLOMBIA.
- Mario Gomez Villeda, E. M. (2006). *CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO Manual de prácticas para la fresadora EMCO F-1 (CNC)*. México D.F: UAM-Azcapotzalco.
- ORTÍZ, B. G. (2004). *OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES ENVUELTAS EN EL MAQUINADO EN UN CENTRO DE MAQUINADO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO*. Nuevo León, México.
- Rodríguez, F. D. (2008). *PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA DE MÁQUINAS*. Cuautitlán, México.
- Sahana V.W, G. T. (2018). 3D Printing Technology in Industry. *International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC 2018)*, 6.
- Shoukat Nawaz, A. Z. (2017). Systematic errors identification in the structure of CNC machines due to elastic deformations. *International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST)*, 5.
- Tavaeva A.F., P. A. (2017). Investigation of Cutting Speed Influence on Optimality of the Tool Path Route for CNC Laser Cutting Machines. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 5.

Theias, M. (2019). What Is CNC Milling? *ALL3DP*, 3.

VISTRONICA-S.A.S. (2019). *VISTRONICA*. Obtenido de <https://www.vistronica.com/>

Vora, P. (2016). Mumbai surgeons use 3D models to help in complex surgeries. *Hindustantimes*, 2.

Yakutov, S. (2015). Improving the Accuracy of Machines with Numerical Program Control Based on the Developed Wave Inverter of Linear Displacements. *International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*, 4.